

Institut für Pflanzenernährung
der Justus-Liebig-Universität Gießen

**Vergleichende Untersuchungen zur Stickstoffdüngungsempfehlung
bei unterschiedlicher Bodenbearbeitung**

Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades
Im Fachbereich Agrarwissenschaften der
Justus-Liebig-Universität
17. Januar 2000

Vorgelegt von
Dipl. Agr. Ing. Yahaya Kané
Aus Keniegoué
Republik Mali

Gießen 2001

**Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades Im Fachbereich Agrarwissenschaften der
Justus-Liebig-Universität
17. Januar 2000**

| | |
|---------------|--------------------------|
| Vorsitzender: | Frau Prof. Dr. Otte |
| 1. Gutachter: | Herr Prof. Dr. Mengel |
| 2. Gutachter: | Herr Prof. Dr. Harrach |
| Prüfer: | Herr Prof. Dr. Ottow |
| Prüfer: | Herr Prof. Dr. Sauerborn |

Meinen Söhnen J.-Thierno und L.-Sori Kané

Für Ihre Liebe und Familienzusammenhalt in der schwierigen Zeit 1997-2001

| | |
|--|-----------|
| 1. EINLEITUNG | 1 |
| 2. Material und Methoden | 6 |
| 2.1 Versuchsanlage und Durchführung..... | 6 |
| 2.1.1. Versuchsstandorte und Witterungsverlauf im Versuchszeitraum | 6 |
| 2.1.1.1. Standort Gießen | 8 |
| 2.1.1.2. Standort Wernborn..... | 8 |
| 2.1.1.3. Standort Bruchköbel | 9 |
| 2.1.1.4. Standort Hassenhausen | 9 |
| 2.1.1.5. Standort Ossenheim | 10 |
| 2.1.2. Bodenbearbeitung..... | 10 |
| 2.1.3. Anlage der Bodenbearbeitungsvarianten..... | 11 |
| 2.1.4. Anlage der Düngungspartzen | 11 |
| 2.1.5. Düngung der Versuchspartzen..... | 11 |
| 2.1.6. Versuchsernten | 11 |
| 2.1.6.1. Getreideernte..... | 11 |
| 2.1.6.2. Maisernte | 12 |
| 2.2. Bodenuntersuchungen..... | 12 |
| 2.2.1. Bodenprobennahme..... | 12 |
| 2.2.1.1. Bodenprobennahmetermine | 12 |
| 2.2.1.1.1. EUF-Methode (Gießener Modell) | 12 |
| 2.2.1.1.2. Nmin-Methode | 13 |
| 2.2.1.2. Probennahmetiefe | 13 |
| 2.2.1.2.1. EUF-Methode | 13 |
| 2.2.1.2.2. Nmin-Methode | 13 |
| 2.2.1.3. Mineralisationsversuch | 14 |
| 2.2.2. Stickstoffextraktion in den Bodenproben..... | 14 |
| 2.2.2.1. Nmin-Methode..... | 14 |
| 2.2.2.1.1. Aufbereitung der Proben | 14 |
| 2.2.2.1.2. Extraktion | 14 |
| 2.2.2.2. EUF-Methode | 14 |
| 2.2.2.2.1. Aufbereitung der Proben | 14 |
| 2.2.2.2.2. Extraktion | 15 |
| 2.2.3. Bestimmung der Stickstoffgehalte (Nitrat, Ammonium und Norg)..... | 15 |
| 2.2.3.1. Bestimmung der „Nmin-Gehalte“ (Nitrat- und Ammonium-N)..... | 15 |
| 2.2.3.1.1. Bestimmung des Nitratgehaltes | 15 |
| 2.2.3.1.2. Bestimmung des Ammoniumgehaltes | 16 |
| 2.2.3.2. Bestimmung des N-Gesamt- und des Norg-Gehaltes | 16 |
| 2.2.4. Bestimmung des fixierten Ammoniumgehaltes | 16 |
| 2.3. Pflanzenuntersuchungen: Bestimmung des Stickstoff- und Rohproteingehaltes | 17 |
| 2.4. Statistische Verfahren und Signifikanzniveau | 17 |
| 2.5. Stickstoffdüngungsempfehlungsmethoden..... | 18 |
| 2.5.1. Die Nmin-Methode | 18 |
| 2.5.1.1. Nmin-Methode nach Wehrmann und Scharpf..... | 18 |
| 2.5.1.2. Nmin-Methode nach „SBA“ (Stickstoffbedarfsanalyse) | 18 |
| 2.5.1.3. Anpassung der Nmin- und SBA-Systeme an die Versuche | 18 |
| 2.5.1.4. EUF-Methode (Gießener Modell)..... | 19 |
| 3. ERGEBNISSE | 21 |
| 3.1. Gehalte verschiedener Stickstofffraktionen im Boden | 21 |

| | |
|---|----|
| 3.1.1. Versuchsjahr 1989/90..... | 21 |
| 3.1.1.1. Standort Gießen | 21 |
| 3.1.1.1.1. EUF-Analysen im Herbst 1989 (0-30 cm Tiefe) | 21 |
| 3.1.1.1.2. Nmin-Analysen im Frühjahr 1990 (0-30 cm, 30-60 cm) | 22 |
| 3.1.1.2. Standort Wernborn..... | 23 |
| 3.1.1.2.1. EUF-Analysen im Herbst 1989 (0-30 cm Tiefe) | 23 |
| 3.1.1.2.2. Nmin-Analysen im Frühjahr 1990 (0-30 cm und 30-60 cm) | 24 |
| 3.1.1.3. Standort Hassenhausen | 26 |
| 3.1.1.3.1. EUF-Analysen im Herbst 1989 (0-30 cm Tiefe) | 26 |
| 3.1.1.3.2. Nmin-Analysen im Frühjahr 1990 (0-30 cm und 30-60 cm Tiefe) | 26 |
| 3.1.1.4. Standort Bruchköbel | 28 |
| 3.1.1.4.1. EUF-Analysen im Herbst 1989 (0-30 cm Tiefe) | 28 |
| 3.1.1.4.2. Nmin-Analysen im Frühjahr 1990 (0-30 cm und 30-60 cm) | 29 |
| 3.1.2. Versuchsjahr 1990/91 | 31 |
| 3.1.2.1. Standort Gießen | 31 |
| 3.1.2.1.1. EUF-Analysen im Herbst 1990 (0-30 cm Tiefe) | 31 |
| 3.1.2.1.2. Nmin-Analysen im Frühjahr 1991 (0-30 und 30-60 cm Tiefe) | 31 |
| 3.1.2.2. Standort Wernborn..... | 33 |
| 3.1.2.2.1. EUF-Analysen im Herbst 1990 (0-30 cm Tiefe) | 33 |
| 3.1.2.2.2. Nmin-Analysen im Frühjahr 1991 (0-30 und 30-60 cm Tiefe) | 34 |
| 3.1.2.3. Standort Bruchköbel | 35 |
| 3.1.2.3.1. EUF-Analysen im Herbst 1990 (0-30 cm Tiefe) | 35 |
| 3.1.2.3.2. Nmin-Analysen im Frühjahr 1991 (0-30 cm und 30-60 cm Tiefe) | 36 |
| 3.1.3. Versuchsjahr 1991/92..... | 38 |
| 3.1.3.1. Standort Gießen | 38 |
| 3.1.3.1.1. EUF-Analysen im Herbst 1991 (0-30 cm Tiefe) | 38 |
| 3.1.3.1.1. Nmin-Analysen im Frühjahr 1992 (0-30 cm und 30-60 cm Tiefe) | 38 |
| 3.1.3.2. Standort Hassenhausen | 40 |
| 3.1.3.2.1. EUF-Analysen im Herbst 1991 (0-30 cm Tiefe) | 40 |
| 3.1.3.2.2. Nmin-Analysen im Frühjahr 1992 (0-30 cm und 30-60 cm Tiefe) | 41 |
| 3.1.3.3. Standort Ossenheim | 43 |
| 3.1.3.3. 1. EUF-Analysen im Herbst 1991 (0-30 cm Tiefe) | 43 |
| 3.1.3.3.2. Nmin-Analysen im Frühjahr 1992 (0-30 cm und 30-60 cm Tiefe) | 44 |
| 3.2. Mineralisationsversuch | 45 |
| 3.2.2. Verlauf der Norg-Werte | 48 |
| 3.3. Gehalt an fixiertem Ammonium..... | 51 |
| 3.3.1. Standort Gießen..... | 51 |
| 3.3.2. Standort Hassenhausen..... | 53 |
| 3.3.3. Standort Wernborn | 55 |
| 3.4. Pflanzenerträge und Proteingehalte | 56 |
| 3.4.1. Versuchsjahr 1989/90..... | 57 |
| 3.4.1.1. Standort Gießen (Wintergerste)..... | 57 |
| 3.4.1.1.1. Korntrag | 58 |
| 3.4.1.1.2. Strohertrag | 59 |
| 3.4.1.1.3. Rohproteingehalt im Korn | 60 |
| 3.4.1.1.4. Rohproteingehalt im Stroh | 61 |

| | |
|---|-----------|
| 3.4.1.2. Standort Wernborn (Winterweizen)..... | 62 |
| 3.4.1.2.1. Kornertrag | 62 |
| 3.4.1.2.2. Strohertrag | 63 |
| 3.4.1.2.3. Rohproteingehalt im Korn | 64 |
| 3.4.1.2.4. Rohproteingehalt im Stroh | 65 |
| 3.4.1.3. Standort Hassenhausen (Wintergerste) | 66 |
| 3.4.1.3.1. Kornertrag | 66 |
| 3.4.1.3.2. Strohertrag | 67 |
| 3.4.1.3.3. Rohproteingehalt im Korn | 68 |
| 3.4.1.3.4. Proteingehalt im Stroh | 69 |
| 3.4.1.4. Standort Bruchköbel (Winterweizen) | 70 |
| 3.4.1.4.1. Kornertrag | 70 |
| 3.4.1.4.2. Strohertrag | 71 |
| 3.4.1.4.3. Rohproteingehalt im Korn | 72 |
| 3.4.1.4.4. Rohproteingehalt im Stroh | 73 |
| 3.4.2. Versuchsjahr 1990/91 | 74 |
| 3.4.2.1. Standort Gießen (Silomais)..... | 74 |
| 3.4.2.1.1. Frischmasseertrag | 74 |
| 3.4.2.1.2. Rohproteingehalt im Silomais | 75 |
| 3.4.2.2. Standort Wernborn (Winterweizen)..... | 76 |
| 3.4.2.2.1. Kornertrag | 76 |
| 3.4.2.2.2. Strohertrag | 78 |
| 3.4.2.2.3. Rohproteingehalt im Korn | 79 |
| 3.4.2.2.4. Rohproteingehalt im Stroh | 79 |
| 3.4.2.3. Standort Bruchköbel (Körnermais)..... | 80 |
| 3.4.2.3.1. Kornertrag | 81 |
| 3.4.2.3.2. Strohertrag | 82 |
| 3.4.2.3.3. Rohproteingehalt im Stroh | 83 |
| 3.4.3. Versuchsjahr 1991/92 | 84 |
| 3.4.3.1. Standort Gießen (Winterweizen) | 84 |
| 3.4.3.1.1. Kornertrag | 84 |
| 3.4.3.1.2. Strohertrag | 86 |
| 3.4.3.1.3. Rohproteingehalt im Korn | 87 |
| 3.4.3.1.4. Rohproteingehalt im Stroh | 87 |
| 3.4.3.2. Standort Hassenhausen (Winterweizen) | 88 |
| 3.4.3.2.1. Kornertrag | 89 |
| 3.4.3.2.2. Strohertrag | 90 |
| 3.4.3.2.3. Rohproteingehalt im Korn | 90 |
| 3.4.3.2.4. Rohproteingehalt im Stroh | 91 |
| 3.4.3.3. Standort Ossenheim (Winterweizen) | 92 |
| 3.4.3.3.1. Kornertrag | 93 |
| 3.4.3.3.2. Strohertrag | 94 |
| 3.4.3.3.3. Rohproteingehalt im Korn | 94 |
| 3.4.3.3.4. Rohproteingehalt im Stroh | 95 |
| 4. Diskussion | 97 |
| 4.1. Einfluß des Bodenbearbeitungssystems auf die Stickstoffdynamik | 97 |
| 4.1.1. Einfluß auf den Nitrat-N-Gehalt des Bodens | 98 |
| 4.1.1.1. Standort Gießen | 98 |
| 4.1.1.2. Standort Wernborn..... | 100 |
| 4.1.1.3. Standort Hassenhausen | 101 |

| | |
|---|------------|
| 4.1.1.4. Standort Bruchköbel | 102 |
| 4.1.1.5. Standort Ossenheim | 103 |
| 4.1.2. Einfluß auf den Ammoniumgehalt im Boden | 103 |
| 4.1.2.1. Standort Gießen | 103 |
| 4.1.2.2. Standort Wernborn..... | 104 |
| 4.1.2.3. Standort Hassenhausen | 104 |
| 4.1.2.4. Standort Bruchköbel | 105 |
| 4.1.2.5. Standort Ossenheim | 105 |
| 4.1.3. Einfluß auf den EUF-Norg-Gehalt im Boden | 105 |
| 4.1.3.1. Standort Gießen | 105 |
| 4.1.3.2. Standort Wernborn..... | 106 |
| 4.1.3.3. Standort Hassenhausen | 106 |
| 4.1.3.4. Standort Bruchköbel | 107 |
| 4.1.3.5. Standort Ossenheim | 107 |
| 4.1.4. Einfluß auf den Gehalt an fixiertem Ammonium..... | 108 |
| 4.1.4.1. Standort Gießen | 108 |
| 4.1.4.2. Standort Hassenhausen | 108 |
| 4.1.4.3. Standort Wernborn..... | 108 |
| 4.1.5. Einfluß der Bodenbearbeitung auf die Stickstoffdynamik des Standorts Bruchköbel | 109 |
| 4.1.5.1. Einfluß der Bodenbearbeitung und der Bodentiefe auf den Nitratgehalt..... | 109 |
| 4.1.5.2. Einfluß der Bodenbearbeitung auf den Norg-Gehalt | 109 |
| 4.1.6. Schlußbetrachtung der Stickstoffdynamik bei differenzierter Bodenbearbeitung..... | 110 |
| 4.2. Einfluß des Bodenbearbeitungssystems und des Düngeempfehlungskonzepts auf den Pflanzenertrag | 114 |
| 4.2.1. Winterweizen | 114 |
| 4.2.1.1. Standort Bruchköbel | 114 |
| 4.2.1.2. Standort Wernborn..... | 115 |
| 4.2.1.3. Standort Hassenhausen | 116 |
| 4.2.1.4. Standort Ossenheim | 116 |
| 4.2.1.5. Standort Gießen | 117 |
| 4.2.2. Wintergerste | 117 |
| 4.2.2.1. Standort Gießen | 117 |
| 4.2.2.2. Standort Hassenhausen | 118 |
| 4.2.3. Mais | 118 |
| 4.2.3.1. Standort Gießen | 118 |
| 4.2.3.2. Standort Bruchköbel | 119 |
| 4.3. Einfluß der Bodenbearbeitungs- und Düngeempfehlungsmethode auf die Pflanzenqualität | 119 |
| 4.3.1. Winterweizen | 119 |
| 4.3.2. Wintergerste | 120 |
| 4.3.3. Silo- und Körnermais | 121 |
| 4.4. Schlußbetrachtung des Gießener Modells und der Nmin-Methode (SBA-System) | 121 |
| 4.4.1. Vor- und Nachteile der Nmin-Methode | 122 |
| 4.4.2. Vor- und Nachteile des Gießener Modells | 123 |
| 4.5. Schlußbetrachtung der Bodenbearbeitung | 125 |
| 5. Zusammenfassung und Schlußfolgerung | 127 |
| 5.1 Zusammenfassung | 127 |
| 5.2 Schlußfolgerung | 128 |

| | |
|----------------------------------|------------|
| Literaturverzeichnis..... | 130 |
|----------------------------------|------------|

Abbildungsverzeichnis

| | | |
|----------|---|----|
| Abb. 1: | Wechselwirkungen von Bodenbearbeitungssystemen auf das Ökosystem Boden | 6 |
| Abb. 2: | Vergleich der Nitratgehalte (mg NO ₃ ⁻ /kg Boden) im Oberboden (0-30 cm) zwischen Herbst (EUF-Analyse) und Frühjahr (Nmin-Analyse), Mittelwert von vier Wiederholungen..... | 22 |
| Abb. 3: | Vergleich der Ammoniumgehalte (mg NH ₄ ⁺ -N/kg Boden) im Oberboden (0-30 cm) zwischen Herbst (EUF-Analyse) und Frühjahr (Nmin-Analyse), Mittelwert von vier Wiederholungen..... | 23 |
| Abb. 4: | Vergleich der Nitratgehalte (mg NO ₃ ⁻ /kg Boden) im Oberboden (0-30 cm) zwischen Herbst (EUF-Analyse) und Frühjahr (Nmin-Analyse), Mittelwert von vier Wiederholungen..... | 25 |
| Abb. 5: | Vergleich der Ammoniumgehalte (mg NH ₄ ⁺ -N/kg Boden) im Oberboden (0-30 cm) zwischen Herbst (EUF-Analyse) und Frühjahr (Nmin-Analyse), Mittelwert von vier Wiederholungen..... | 25 |
| Abb. 6: | Vergleich der Nitratgehalte (mg NO ₃ ⁻ /kg Boden) im Oberboden (0-30 cm) zwischen Herbst (EUF-Analyse) und Frühjahr (Nmin-Analyse), Mittelwert von vier Wiederholungen..... | 27 |
| Abb. 7: | Vergleich der Ammoniumgehalte (mg NH ₄ ⁺ -N/kg Boden) im Oberboden (0-30 cm) zwischen Herbst (EUF-Analyse) und Frühjahr (Nmin-Analyse), Mittelwert von vier Wiederholungen..... | 28 |
| Abb. 8: | Vergleich der Nitratgehalte (mg NO ₃ ⁻ /kg Boden) im Oberboden (0-30 cm) zwischen Herbst (EUF-Analyse) und Frühjahr (Nmin-Analyse), Mittelwert von vier Wiederholungen..... | 30 |
| Abb. 9: | Vergleich der Ammoniumgehalte (mg NH ₄ ⁺ -N/kg Boden) im Oberboden (0-30 cm) zwischen Herbst (EUF-Analyse) und Frühjahr (Nmin-Analyse), Mittelwert von vier Wiederholungen..... | 30 |
| Abb. 10: | Vergleich der Nitratgehalte (mg NO ₃ ⁻ /kg Boden) im Oberboden (0-30 cm) zwischen Herbst (EUF-Analyse) und Frühjahr (Nmin-Analyse), Mittelwert von vier Wiederholungen..... | 32 |
| Abb. 11: | Vergleich der Ammoniumgehalte (mg NH ₄ ⁺ -N/kg Boden) im Oberboden (0-30 cm) zwischen Herbst (EUF-Analyse) und Frühjahr (Nmin-Analyse), Mittelwert von vier Wiederholungen..... | 33 |
| Abb. 12: | Vergleich der Nitratgehalte (mg NO ₃ ⁻ /kg Boden) im Oberboden (0-30 cm) zwischen Herbst (EUF-Analyse) und Frühjahr (Nmin-Analyse), Mittelwert von vier Wiederholungen..... | 34 |
| Abb. 13: | Vergleich der Ammoniumgehalte (mg NH ₄ ⁺ -N/kg Boden) im Oberboden (0-30 cm) zwischen Herbst (EUF-Analyse) und Frühjahr (Nmin-Analyse), Mittelwert von vier Wiederholungen..... | 35 |
| Abb. 14: | Vergleich der Nitratgehalte (mg NO ₃ ⁻ /kg Boden) im Oberboden (0-30 cm) zwischen Herbst (EUF-Analyse) und Frühjahr (Nmin-Analyse), Mittelwert von vier Wiederholungen..... | 37 |
| Abb. 15: | Vergleich der Ammoniumgehalte (mg NH ₄ ⁺ -N/kg Boden) im Oberboden (0-30 cm) zwischen Herbst (EUF-Analyse) und Frühjahr (Nmin-Analyse), Mittelwert von vier Wiederholungen..... | 37 |
| Abb. 16: | Vergleich der Nitratgehalte (mg NO ₃ ⁻ /kg Boden) im Oberboden (0-30 cm) zwischen Herbst (EUF-Analyse) und Frühjahr (Nmin-Analyse), Mittelwert von vier Wiederholungen..... | 39 |
| Abb. 17: | Vergleich der Ammoniumgehalte (mg NH ₄ ⁺ -N/kg Boden) im Oberboden (0-30 cm) zwischen Herbst (EUF-Analyse) und Frühjahr (Nmin-Analyse), Mittelwert von vier Wiederholungen..... | 40 |

| | |
|--|----|
| Abb. 18: Vergleich der Nitratgehalte (mg NO ₃ ⁻ /kg Boden) im Oberboden (0-30 cm) zwischen Herbst (EUF-Analyse) und Frühjahr (Nmin-Analyse), Mittelwert von vier Wiederholungen..... | 42 |
| Abb. 19: Vergleich der Ammoniumgehalte (mg NH ₄ ⁺ -N/kg Boden) im Oberboden (0-30 cm) zwischen Herbst (EUF-Analyse) und Frühjahr (Nmin-Analyse), Mittelwert von vier Wiederholungen..... | 43 |
| Abb. 20: Vergleich der Nitratgehalte (mg NO ₃ ⁻ /kg Boden) im Oberboden (0-30 cm) zwischen Herbst (EUF-Analyse) und Frühjahr (Nmin-Analyse), Mittelwert von vier Wiederholungen..... | 44 |
| Abb. 21: Vergleich der Ammoniumgehalte (mg NH ₄ ⁺ -N/kg Boden) im Oberboden (0-30 cm) zwischen Herbst (EUF-Analyse) und Frühjahr (Nmin-Analyse), Mittelwert von vier Wiederholungen..... | 45 |
| Abb. 22: Verlauf der Nitratgehalte in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung (in mg N/kg Boden), Probennahmetiefe: 0-30 cm, Mittelwerte von je vier Wiederholungen..... | 46 |
| Abb. 23: Verlauf der Nitratgehalte (Durchschnitt aller Bearbeitungsmethoden) in der Ober- (0-15 cm) und Unterkrume (15-30 cm), Mittelwerte von je vier Wiederholungen..... | 47 |
| Abb. 24: Vergleich der Nitratgehalte (Durchschnitt aller Probennahmetermine) in der Ober- (0-15 cm) und Unterkrume (15-30 cm), Mittelwerte von je vier Wiederholungen..... | 47 |
| Abb. 25: Verlauf der EUF-Norg-Gehalte in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung Probennahmetiefe: 0-30 cm, Mittelwerte von je vier Wiederholungen..... | 49 |
| Abb. 26: Verlauf der EUF-Norg-Gehalte (Durchschnitt aller Bearbeitungsmethoden) in der Ober- (0-15 cm) und Unterkrume (15-30 cm), Mittelwerte von je vier Wiederholungen..... | 50 |
| Abb. 27: Vergleich der EUF-Norg-Gehalte (Durchschnitt aller Probennahmetermine) im Ober- (0-15 cm) und Unterkrume (15-30 cm), Mittelwerte von je vier Wiederholungen..... | 51 |
| Abb. 28: Vergleich der Gehalte an fixiertem Ammonium bei Pflug und Direktsaat (in mg N/kg Boden) Probennahmetiefe: 0-60 cm; Mittelwerte von je vier Wiederholungen.. | 52 |
| Abb. 29: Vergleich der Gehalte an fixiertem Ammonium im Ober- (0-30 cm) und Unterboden (30-60 cm), Durchschnitt aller Proben (Mittelwert von je zwölf Wiederholungen) | 53 |
| Abb. 30: Vergleich der Gehalte an fixiertem Ammonium bei Pflug und Direktsaat, Mittelwert von je vier Wiederholungen..... | 54 |
| Abb. 31: Vergleich der Gehalte an fixiertem Ammonium in Ober- (0-30 cm) und Unterboden (30-60 cm), Durchschnitt von 3 Terminen (Mittelwert von je zwölf Wiederholungen) | 54 |
| Abb. 32: Vergleich der Gehalte an fixiertem Ammonium bei Pflug und Direktsaat, Mittelwert von je vier Wiederholungen..... | 55 |
| Abb. 33: Vergleich der Gehalte an fixiertem Ammonium in Ober- (0-30 cm) und Unterboden (30-60 cm), Durchschnitt von 3 Terminen (Mittelwert von je zwölf Wiederholungen) | 56 |
| Abb. 34: Kornträge der Wintergerste (dt/ha) bei unterschiedlicher Düngung und Bodenbearbeitung (Mittelwerte von je vier Wiederholungen) | 58 |
| Abb. 35: Stroherträge der Wintergerste (dt/ha) bei unterschiedlicher Düngung und Bodenbearbeitung (Mittelwerte von je vier Wiederholungen) | 60 |
| Abb. 36: Kornträge des Winterweizen (dt/ha) bei unterschiedlicher Düngung und Bodenbearbeitung (Mittelwerte von je vier Wiederholungen) | 63 |
| Abb. 37: Stroherträge des Winterweizen (dt/ha) bei unterschiedlicher Düngung und Bodenbearbeitung (Mittelwerte von je vier Wiederholungen) | 64 |
| Abb. 38: Kornträge der Wintergerste (dt/ha) bei unterschiedlicher Düngung und Bodenbearbeitung (Mittelwerte von je vier Wiederholungen) | 67 |

| | |
|--|----|
| Abb. 39: Stroherträge der Wintergerste (dt/ha) bei unterschiedlicher Düngung und Bodenbearbeitung (Mittelwerte von je vier Wiederholungen) | 68 |
| Abb. 40: Kornträge des Winterweizen (dt/ha) bei unterschiedlicher Düngung und Bodenbearbeitung (Mittelwerte von je vier Wiederholungen) | 71 |
| Abb. 41: Stroherträge des Winterweizen (dt/ha) bei unterschiedlicher Düngung und Bodenbearbeitung (Mittelwerte von je vier Wiederholungen) | 72 |
| Abb. 42: Frischmasseerträge des Silomais (dt/ha) bei unterschiedlicher Düngung und Bodenbearbeitung (Mittelwerte von je vier Wiederholungen) | 75 |
| Abb. 43: Kornträge des Winterweizen (dt/ha) bei unterschiedlicher Düngung und Bodenbearbeitung (Mittelwerte von je vier Wiederholungen) | 77 |
| Abb. 44: Stroherträge des Winterweizen (dt/ha) bei unterschiedlicher Düngung und Bodenbearbeitung (Mittelwerte von je vier Wiederholungen) | 78 |
| Abb. 45: Kornträge des Körnermais (dt/ha) bei unterschiedlicher Düngung und Bodenbearbeitung (Mittelwerte von je vier Wiederholungen) | 81 |
| Abb. 46: Stroherträge des Körnermais (dt/ha) bei unterschiedlicher Düngung und Bodenbearbeitung (Mittelwerte von je vier Wiederholungen) | 83 |
| Abb. 47: Kornträge des Winterweizen (dt/ha) bei unterschiedlicher Düngung und Bodenbearbeitung (Mittelwerte von je vier Wiederholungen) | 85 |
| Abb. 48: Stroherträge des Winterweizen (dt/ha) bei unterschiedlicher Düngung und Bodenbearbeitung (Mittelwerte von je vier Wiederholungen) | 86 |
| Abb. 49: Kornträge des Winterweizen (dt/ha) bei unterschiedlicher Düngung und Bodenbearbeitung (Mittelwerte von je vier Wiederholungen) | 89 |
| Abb. 50: Stroherträge des Winterweizen (dt/ha) bei unterschiedlicher Düngung und Bodenbearbeitung (Mittelwerte von je vier Wiederholungen) | 90 |
| Abb. 51: Kornträge des Winterweizen (dt/ha) bei unterschiedlicher Düngung und Bodenbearbeitung (Mittelwerte von je vier Wiederholungen) | 93 |
| Abb. 52: Stroherträge des Winterweizen (dt/ha) bei unterschiedlicher Düngung und Bodenbearbeitung (Mittelwerte von je vier Wiederholungen) | 94 |

Tabellenverzeichnis

| | |
|--|----|
| Tab. 1: Bodencharakteristik der Standorte | 7 |
| Tab. 3: Winterliche Temperaturen und Niederschläge am Standort Gießen..... | 8 |
| Tab. 4: Winterliche Temperaturen und Niederschläge am Standort Wernborn..... | 9 |
| Tab. 5: Winterliche Temperaturen und Niederschläge am Standort Bruchköbel..... | 9 |
| Tab. 6: Winterliche Temperaturen und Niederschläge am Standort Hassenhausen..... | 10 |
| Tab. 7: Winterliche Temperaturen und Niederschläge am Standort Ossenheim | 10 |
| Tab. 8: Reagenzien zur Bestimmung des Nitrat- und Ammoniumstickstoffs..... | 16 |
| Tab. 9: Unterschiedliche N-Fraktionen bei differenzierter Bodenbearbeitung (in mg N/kg Boden)..... | 21 |
| Tab. 10: Unterschiedliche N-Fraktionen bei differenzierter Bodenbearbeitung (in mg N/kg Boden)..... | 22 |
| Tab. 11: Unterschiedliche N-Fraktionen bei differenzierter Bodenbearbeitung (in mg N/kg Boden)..... | 24 |
| Tab. 12: Unterschiedliche N-Fraktionen bei differenzierter Bodenbearbeitung (in mg N/kg Boden)..... | 24 |
| Tab. 13: Unterschiedliche N-Fraktionen bei differenzierter Bodenbearbeitung (in mg N/kg Boden)..... | 26 |
| Tab. 14: Unterschiedliche N-Fraktionen bei differenzierter Bodenbearbeitung (in mg N/kg Boden)..... | 26 |
| Tab. 15: Unterschiedliche N-Fraktionen bei differenzierter Bodenbearbeitung (in mg N/kg Boden)..... | 29 |
| Tab. 16: Unterschiedliche N-Fraktionen bei differenzierter Bodenbearbeitung (in mg N/kg Boden)..... | 29 |
| Tab. 17: Unterschiedliche N-Fraktionen bei differenzierter Bodenbearbeitung (in mg N/kg Boden)..... | 31 |
| Tab. 18: Unterschiedliche N-Fraktionen bei differenzierter Bodenbearbeitung (in mg N/kg Boden)..... | 31 |
| Tab. 19: Unterschiedliche N-Fraktionen bei differenzierter Bodenbearbeitung (in mg N/kg Boden)..... | 33 |
| Tab. 20: Unterschiedliche N-Fraktionen bei differenzierter Bodenbearbeitung (in mg N/kg Boden)..... | 34 |
| Tab. 21: Unterschiedliche N-Fraktionen bei differenzierter Bodenbearbeitung (in mg N/kg Boden)..... | 36 |
| Tab. 22: Unterschiedliche N-Fraktionen bei differenzierter Bodenbearbeitung (in mg N/kg Boden)..... | 36 |
| Tab. 23: Unterschiedliche N-Fraktionen bei differenzierter Bodenbearbeitung (in mg N/kg Boden)..... | 38 |
| Tab. 24: Unterschiedliche N-Fraktionen bei differenzierter Bodenbearbeitung (in mg N/kg Boden)..... | 38 |
| Tab. 25: Unterschiedliche N-Fraktionen bei differenzierter Bodenbearbeitung (in mg N/kg Boden)..... | 40 |
| Tab. 26: Unterschiedliche N-Fraktionen bei differenzierter Bodenbearbeitung (in mg N/kg Boden)..... | 41 |
| Tab. 27: Unterschiedliche N-Fraktionen bei differenzierter Bodenbearbeitung (in mg N/kg Boden)..... | 43 |
| Tab. 28: Unterschiedliche N-Fraktionen bei differenzierter Bodenbearbeitung (in mg N/kg Boden)..... | 44 |
| Tab. 29: Stickstoffdüngergaben (kg N/ha) bei unterschiedlicher Bodenbearbeitung..... | 58 |
| Tab. 30: Agronomische Effizienz der N-Düngung (kg Korn/kg N) | 59 |

| | |
|---|----|
| Tab. 31: Vergleich der Rohproteingehalte im Korn der Wintergerste (% TM) bei unterschiedlicher Düngung und Bodenbearbeitung (Mittelwerte von 4 Wiederholungen) | 61 |
| Tab. 32: Vergleich der Rohproteingehalte im Stroh der Wintergerste (% TM) bei unterschiedlicher Düngung und Bodenbearbeitung (Mittelwerte von 4 Wiederholungen) | 61 |
| Tab. 33: Stickstoffdüngergaben (kg N/ha) bei unterschiedlicher Bodenbearbeitung..... | 62 |
| Tab. 34: Agronomische Effizienz der N-Düngung (kg Korn/kg N) | 63 |
| Tab. 35: Vergleich der Rohproteingehalte im Korn des Winterweizen (% TM) bei unterschiedlicher Düngung und Bodenbearbeitung (Mittelwerte von 4 Wiederholungen) | 65 |
| Tab. 36: Vergleich der Rohproteingehalte im Stroh des Winterweizen (% TM) bei unterschiedlicher Düngung und Bodenbearbeitung (Mittelwerte von 4 Wiederholungen) | 65 |
| Tab. 37: Stickstoffdüngergaben (kg N/ha) bei unterschiedlicher Bodenbearbeitung..... | 66 |
| Tab. 38: Agronomische Effizienz der N-Düngung (kg Korn/kg N) | 67 |
| Tab. 39: Vergleich der Rohproteingehalte im Korn der Wintergerste (% TM) bei unterschiedlicher Düngung und Bodenbearbeitung (Mittelwerte von 4 Wiederholungen) | 69 |
| Tab. 40: Vergleich der Rohproteingehalte im Stroh der Wintergerste (% TM) bei unterschiedlicher Düngung und Bodenbearbeitung (Mittelwerte von 4 Wiederholungen) | 69 |
| Tab. 41: Stickstoffdüngergaben (kg N/ha) bei unterschiedlicher Bodenbearbeitung..... | 70 |
| Tab. 42: Agronomische Effizienz der N-Düngung (kg Korn/kg N) | 71 |
| Tab. 43: Vergleich der Rohproteingehalte im Korn des Winterweizen (% TM) bei unterschiedlicher Düngung und Bodenbearbeitung (Mittelwerte von 4 Wiederholungen) | 73 |
| Tab. 44: Vergleich der Rohproteingehalte im Stroh des Winterweizen (% TM) bei unterschiedlicher Düngung und Bodenbearbeitung (Mittelwerte von 4 Wiederholungen) | 73 |
| Tab. 45: Stickstoffdüngergaben (kg N/ha) bei unterschiedlicher Bodenbearbeitung | 74 |
| Tab. 46: Agronomische Effizienz der N-Düngung (kg Silomais/kg N)..... | 74 |
| Tab. 47: Vergleich der Rohproteingehalte vom Silomais (% TM) bei unterschiedlicher Düngung und Bodenbearbeitung (Mittelwerte von 4 Wiederholungen) | 76 |
| Tab. 48: Stickstoffdüngergaben (kg N/ha) bei unterschiedlicher Bodenbearbeitung..... | 76 |
| Tab. 49: Agronomische Effizienz der N-Düngung (kg Korn/kg N) | 78 |
| Tab. 50: Vergleich der Rohproteingehalte im Korn der Winterweizen (% TM) bei unterschiedlicher Düngung und Bodenbearbeitung (Mittelwerte von 4 Wiederholungen) | 79 |
| Tab. 51: Vergleich der Rohproteingehalte im Stroh des Winterweizen (% TM) bei unterschiedlicher Düngung und Bodenbearbeitung (Mittelwerte von 4 Wiederholungen) | 80 |
| Tab. 52: Stickstoffdüngergaben (kg N/ha) bei unterschiedlicher Bodenbearbeitung..... | 80 |
| Tab. 53: Agronomische Effizienz der N-Düngung (kg Korn/kg N) | 82 |
| Tab. 54: Vergleich der Rohproteingehalte im Stroh vom Körnermais (% TM) bei unterschiedlicher Düngung und Bodenbearbeitung (Mittelwerte von 4 Wiederholungen) | 84 |
| Tab. 55: Stickstoffdüngergaben (kg N/ha) bei unterschiedlicher Bodenbearbeitung..... | 84 |
| Tab. 56: Agronomische Effizienz der N-Düngung (kg Korn/kg N) | 86 |

| | |
|---|-----|
| Tab. 57: Vergleich der Rohproteingehalte im Korn des Winterweizen (% TM) bei unterschiedlicher Düngung und Bodenbearbeitung (Mittelwerte von 4 Wiederholungen) | 87 |
| Tab. 58: Vergleich der Rohproteingehalte im Stroh des Winterweizen (% TM) bei unterschiedlicher Düngung und Bodenbearbeitung (Mittelwerte von 4 Wiederholungen) | 88 |
| Tab. 59: Stickstoffdüngergaben (kg N/ha) bei unterschiedlicher Bodenbearbeitung | 88 |
| Tab. 60: Agronomische Effizienz der N-Düngung (kg Korn/kg N) | 89 |
| Tab. 61: Vergleich der Rohproteingehalte im Korn des Winterweizen (% TM) bei unterschiedlicher Düngung und Bodenbearbeitung (Mittelwerte von 4 Wiederholungen) | 91 |
| Tab. 62: Vergleich der Rohproteingehalte im Stroh des Winterweizen (% TM) bei unterschiedlicher Düngung und Bodenbearbeitung (Mittelwerte von 4 Wiederholungen) | 91 |
| Tab. 63: Stickstoffdüngergaben (kg N/ha) bei unterschiedlicher Bodenbearbeitung | 92 |
| Tab. 64: Agronomische Effizienz der N-Düngung (kg Korn/kg N) | 93 |
| Tab. 65: Vergleich der Rohproteingehalte im Korn des Winterweizen (% TM) bei unterschiedlicher Düngung und Bodenbearbeitung (Mittelwerte von 4 Wiederholungen) | 95 |
| Tab. 66: Vergleich der Rohproteingehalte im Stroh des Winterweizens (% TM) bei unterschiedlicher Düngung und Bodenbearbeitung (Mittelwerte von 4 Wiederholungen) | 96 |
| Tab. 67: Vergleich der Konzentration unterschiedlicher N-Fractionen bei differenzierter Bodenbearbeitung im Herbst (H) bzw. im Frühjahr (F) in 0-30 bzw. 0-60 cm Tiefe (Bewertung durch Punkte) | 111 |
| Tab. 68: Vergleich der Konzentration unterschiedlicher N-Fractionen bei differenzierter Bodenbearbeitung im Herbst (H) bzw. Frühjahr (F) in 0-30 bzw. 0-60 cm Tiefe (Bewertung durch Punkte) | 112 |
| Tab. 69: Vergleich der Konzentration unterschiedlicher N-Fractionen bei differenzierter Bodenbearbeitung im Herbst (H) bzw. Frühjahr (F) in 0-30 bzw. 0-60 cm Tiefe (Bewertung durch Punkte) | 113 |
| Tab. 70: Vergleich der Konzentration unterschiedlicher N-Fractionen bei differenzierter Bodenbearbeitung im Herbst (H) bzw. Frühjahr (F) in 0-30 bzw. 0-60 cm Tiefe (Bewertung durch Punkte) | 113 |
| Tab. 71: Vergleich der Konzentration unterschiedlicher N-Fractionen bei differenzierter Bodenbearbeitung im Herbst (H) bzw. Frühjahr (F) in 0-30 bzw. 0-60 cm Tiefe (Bewertung durch Punkte) | 114 |
| Tab. 72: Ertragsleistung des Gießener Modells auf 5 Standorten bei unterschiedlicher Bodenbearbeitung im Vergleich zur Nmin-Düngeempfehlungsmethode..... | 122 |

1. EINLEITUNG

Der Wahl der richtigen Bodenbearbeitungsmaßnahme kommt bei einer umweltbewußten landwirtschaftlichen Produktion eine immer größere Rolle zu. Es ist daher notwendig, die Vor- und Nachteile jedes Bodenbearbeitungssystems (konventionelles, reduziertes oder Direktsaat) als Grundlage für jede Entscheidung bezüglich dieser Tätigkeit zu erkennen. Die Zuverlässigkeit der jeweiligen Bodenbearbeitungsverfahren ist klima- und standortbedingt. Der Pflug als wahrscheinlich ältester Mechanisationsfortschritt in der Landwirtschaft genießt nach wie vor breite Anwendung. Kemner (1983) bezeichnete den „Pflug im Ackerfeld“ als das „schönste Wappen in der Welt“ und als die bedeutendste Erfindung in der Geschichte. „Voraussetzung für eine wachsende Kultur“, so Kemner weiter, „ist eine gute Ackerkultur; mit anderen Worten: der Wohlstand beginnt hinter dem Pflug“. Das Pflügen soll optimale Voraussetzungen für das Pflanzenwachstum herstellen. Laut Estler et al. (1984) verbessert der Pflug den Wasser-, Luft- und Wärmehaushalt des Ackerbodens. Estler schätzt die Zunahme des Bodenvolumens durch den Pflug je nach Boden auf 30 bis 50%. Kemner (1983) sieht weitere Vorteile in der erhöhten Wasserkapazität und verstärkten Frostwirkung im Winter. Phillips und Phillips (1984) erwähnen eine schnellere Erwärmung des gepflügten Bodens im Frühjahr. Kemner (1983) und Estler et al. (1984) räumen dem Pflug eine sehr bedeutende Rolle in der Unkrautbekämpfung ein. Durch das Einarbeiten von Unkräutern und Ernterückständen trägt der Pflug zur Dauerhumusbildung bei (Kemner, 1983). Phillips und Phillips (1984) sowie Estler und Knittel (1984) weisen auf eine verbesserte Durchwurzelbarkeit als ein Ziel des Pflügens hin.

So vorteilhaft aber der Pflug sein mag, er bleibt (so wie andere Bodenbearbeitungsmaßnahmen) ein „Bodeneingriff“. Beim Pflügen wird die Bodenstruktur weitgehend zerstört (Fiedler, 1990). Estler et al. (1984) weisen darauf hin, daß der Übergang zum Unterboden zerstört wird und ein neues Profil entsteht: Krume bis 25 cm, Pflugsohle zwischen 25 und 30 cm und Unterboden ab 30 cm Tiefe. Fiedler (1990) macht den Strukturzerfall für die allgemeine Verdichtung der Bodenoberfläche und die Bildung von Pflug- und Radsohle verantwortlich. Buchner und Köller (1990) berichten, daß durch die Sackungsverdichtung die groben Poren zusammengepreßt werden und somit die Wasserinfiltration behindert wird. Übernässung, Verschlämmung, Zerstörung des Aggregatgefüges und reduktive Verhältnisse sind, so Estler et al. (1984), die Folgen der Verdichtung der Bearbeitungsgrenze. Durch den Einsatz von schweren Maschinen, besonders in Hanglagen, geht wertvolles Bodenmaterial mit Humus und Nährstoff durch Erosion verloren (Buchner und Koller, 1990). Auf die Erosionsgefahr weisen Blevins et al. (1984) hin. Ihren Untersuchungen zufolge dauert die intensive Immobilisation von Stickstoff ein bis zwei Wochen; die nachfolgenden N-Verluste können die Aufnahme verringern. Ferner weisen die o.g. Autoren auf die Zerstörung des Lebensraumes von Bodentieren hin. Durch das Pflügen werden Aktivität und Population von Regenwürmern und Nematoden (Blevins et al., 1984; Henke, 1989; Friebe, 1992) sowie der Makro- und Mesofauna (Friebe, 1989) stark reduziert.

Um die oben erwähnten Nachteile des Pflügens zu unterbinden bzw. um die Produktionskosten zu senken, gewinnen minimale Bearbeitungsmaßnahmen eine zunehmende

Bedeutung. Estler et al. (1984) bieten den Grubber als Alternative an. Damit kann, neben einer besseren Einmischung von Stroh, eine Stabilisierung des Gefüges erreicht und eine Verdichtung vermieden werden. Buchner und Köller (1990) schlagen u.a. spezielle Grubber zur Pflugsohlelockerung vor. Seifert (1988) findet den Einsatz des Pflugs nicht mehr in allen Fällen zweckmäßig; denn „das Säen ist jetzt ohne Strukturzerstörung möglich“.

Vor einem absoluten Verzicht auf Bodenbearbeitung (Direktsaat) scheuen sich zahlreiche Landwirte nicht mehr. Neben einer erheblichen Zeit- und Kosteneinsparung wird mit dieser Methode die Umwelt weitgehend geschont. Ein Ziel des Pflugverzichtes ist nach Meinung von Tebrügge und Eichhorn (1992) sowie von Levanon et al. (1993) die Minimierung der Verlagerung von Pflanzenschutzmitteln. Witt (1984a, 1984b) sowie Düring und Hummel (1992) konnten den Rückgang der Persistenz von Herbiziden bei reduzierter Bodenbearbeitung nachweisen. Weitere Vorteile des Pflugverzichtes sind u.a.:

- **die Erhaltung der Bodenfeuchte,**
- **die Minderung der Erosionsgefahr,**
- **die verbesserten bodenphysikalischen Eigenschaften und**
- **die Verminderung der Produktionskosten.**

In der vorliegenden Arbeit steht der Stickstoff als wichtiger Umweltfaktor im Mittelpunkt. Nach Angaben von Kohl (1989), Hütsch (1991) sowie Richter und Harrach (1992) wird der N-Austrag in tiefere Bodenschichten durch die reduzierte Bodenbearbeitung vermindert. Eine niedrigere Nitratkonzentration wurde in 210 cm Tiefe von Angle et al. (1993) im Maisanbau bei Direktsaat im Vergleich zum Pflug gemessen. Hütsch (1991) stellte einen Anstieg des Gehaltes an organischer Substanz in der Oberkrume der Direktsaat bzw. der nichtwendenden Bodenbearbeitung im Vergleich zum Pflug fest. Dies sichert eine kontinuierliche Versorgung der Pflanzen mit Stickstoff (Richter und Harrach, 1992).

In den USA ist die Fläche der unter Direktsaat stehenden Kulturen von 1.342.000 ha im Jahr 1972 auf 4.198.000 ha im Jahr 1982 angestiegen (Blevins, 1984); dies, obwohl die reduzierte Bodenbearbeitung auch Nachteile mit sich bringt: erhöhten Herbizidaufwand, langsamere Bodenerwärmung, schlechte Keimung und Feldaufgang (Hütsch, 1991). In der BRD, anders als in den USA, hat der Pflugverzicht in der Praxis noch keine bedeutende Rolle eingenommen. Allerdings ist ein wachsendes Interesse an diesem Verfahren zu bemerken.

Im Rahmen eines vom B.M.F.T. (Bundesministerium für Forschung und Technik) geförderten Projektes zur Beurteilung unterschiedlicher Bodenbearbeitungssysteme erforschte Hütsch (1991) die Verfügbarkeit des Bodenstickstoffs. Ihre im Institut für Pflanzenernährung der Justus-Liebig-Universität (J.L.U.) in Gießen durchgeführten Untersuchungen zeigten bedeutende standort- und bodenbearbeitungsbedingte Unterschiede hinsichtlich des Gehalts verschiedener mineralischer und der mit der EUF-Methode (Elektro-Ultrafiltration) extrahierbarer organischer Stickstofffraktionen. In der Parabraunerde (Standort Ossenheim) sowie im Tonschieferverswitterungsboden (Standort Wernborn) waren höhere Nitrat- und Ammoniumwerte und im Sandboden (Bruchköbel) höhere Ammoniumstickstoffgehalte im Oberboden (0-10 cm) der Grubber- und der Direktsaat- im Vergleich zur Pflugvariante zu

verzeichnen. Im Gegensatz dazu wurde im Auenboden (Standort Gießen) mehr mineralischer Stickstoff in der Oberkrume des gepflügten Bodens als in der Grubber- und der Direktsaatvariante gemessen. Ebenso waren in der unteren Schicht der Pflugvariante (15-25 cm) aller Standorte höhere Mengen an Nitrat- und Ammoniumstickstoff vorhanden als in den ungepflügten Varianten. Höhere EUF-Norg-Gehalte waren in der Oberkrume der Grubber- und der Direktsaatvariante im Vergleich zur Pflugvariante vorhanden. Die umgekehrte Tendenz war in der Unterkrume zu verzeichnen: hier stellte der Sandboden eine Ausnahme dar, da beide Bodenschichten identische Mengen an EUF-Norg enthielten.

Da aufgrund der langsameren Erwärmung des ungepflügten Bodens (Direktsaat) die intensive Nachlieferung vom mineralischen Stickstoff aus dem organischen N verspätet einsetzt, stellte sich die Frage, ob diese Tatsache in der Düngebedarfsprognose Berücksichtigung finden sollte. Dies setzt eine Düngeempfehlungsmethode voraus, die die o.g. Nachlieferung einschätzt und berücksichtigt. Im Gegensatz zur Nmin-Analyse im Februar, so Hütsch (1991), kann der EUF-Norg zu diesem Zweck verwendet werden. Eine entsprechende Düngeempfehlungsmethode, genannt „Gießener Modell“, war bereits im Institut für Pflanzenernährung der J.L.U. Gießen entwickelt und auf mehreren gepflügten Standorten in Hessen überprüft (Barekzai et al.1992). Sie erreichte 95% des wirtschaftlichen Optimums (Barekzai et al.1992).

In der vorliegenden Arbeit wurde der Versuch unternommen, das Gießener Modell auf unterschiedlichen Bodenbearbeitungsvarianten der längst bestehenden und weit verbreiteten Nmin-Methode gegenüber zu stellen.

Die Untersuchungen fanden von Dezember 1989 bis September 1992 im Rahmen des interdisziplinären Forschungsvorhabens des B.M.F.T. (Bundesministerium für Forschung und Technik) über die „Wechselwirkung von Bodenbearbeitungssystemen auf das Ökosystem Boden“ statt. Es stellte sich die Frage nach der eventuellen Anpassung der N-Düngung an das Mineralisationsvermögen bzw. an das Bodenbearbeitungssystem. Diese Zielsetzung sollte dazu dienen, den beiden folgenden Forderungen gerecht zu werden: umweltverträgliche und bedarfsgerechte N-Düngeempfehlung sowie kostengünstiges Stickstoffmanagement.

Zur Erhaltung von Bodenfruchtbarkeit und Ertragsleistung bezeichnet Mengel (1991) die Rückführung der dem Boden entzogenen Pflanzennährstoffe als unumgänglich. Der Autor räumt der Düngeform, ob organisch oder mineralisch, eine zweitrangige Bedeutung ein. In der praktischen Landwirtschaft kommt jedoch den mineralischen N-Düngern die wichtigste Rolle zu. Ihr Einsatz, so Finck (1992), soll keine Nachteile auf die Umwelt haben. Um einen umweltfreundlichen und bedarfsgerechten Düngeinsatz zu gewährleisten, sind zahlreiche Konzepte erarbeitet worden (Sturm (1979), Heyland und Kochs (1984), Sturm et al. (1994)). Die Berücksichtigung folgender Kriterien wird empfohlen:

- **bei der Frühjahrsdüngung:** Standorterfahrung, Schlagkartei, N-Hilfstabelle, Nmin-Methode;
- **bei der Schossergabe:** Bestandsentwicklung, Mineralisation aus der organischen Substanz, Nitratschnelltest;
- **bei der Spätdüngung:** Bestandsentwicklung, Erzeugungsschwerpunkt, Nitratschnelltest.

Ein Konzept für die mineralische N-Düngung wurde von Wehrmann und Scharpf (1986) entwickelt: die Nmin-Methode. Sie basiert auf dem mineralischen N-Gehalt (Nitrat) in 0 bis 90 cm Tiefe im Frühjahr. Im Gegensatz dazu berücksichtigt die im Institut für Pflanzenernährung der Universität Gießen erarbeitete EUF-(Elektro-Ultra-Filtration) Methode sowohl den mineralischen als auch den organischen N-Gehalt des Bodens in 0 bis 30 cm Tiefe im Spätherbst. Die Nmin-Methode und die EUF-Methode (Gießener Modell) werden als Schwerpunkte dieser Arbeit im Kapitel 2 ausführlich vorgestellt.

Die Forderung nach kostengünstigem Stickstoffmanagement setzt folgendes voraus:

1. Eine genaue Schätzung der den Pflanzen zur Verfügung stehenden N-Menge; d.h. die im Boden vorhandene Menge an mineralischem Stickstoff und die Nachlieferung von mineralischem Stickstoff aus dem organischen Material.
2. Eine Schätzung der notwendigen zu applizierenden N-Menge, wobei der Ausnutzungsgrad berücksichtigt werden muß.

In der BRD wird die Nmin-Methode in der Praxis nur sporadisch eingesetzt, da sie einige Mängel aufweist:

- erhöhter Arbeitsaufwand durch die Probennahmetiefe (90 cm);
- der späte Probennahmetermin führt häufig zu Zeitdruck;
- fehlendes Konzept für die Schosser- und Spätgabe;
- in der N-Düngeempfehlung wird ausschließlich die Nitratfraktion berücksichtigt.

Daraufhin wurde das Gießener Modell als Alternative entworfen und ausgearbeitet. Es wurde von Barezai et al. (1992) in Feldversuchen überprüft und lieferte über 95% des ökonomischen Optimums. Die Überprüfung fand ausschließlich in gepflügten Feldern statt.

In der vorliegenden Arbeit wurden beide Düngeempfehlungskonzepte (Nmin- und EUF-Methode) auf verschiedenen Bodenbearbeitungsvarianten überprüft und verglichen. Aus den vom Institut für Landtechnik angelegten Bodenbearbeitungsversuchen wurden drei Bodenbearbeitungsvarianten (Pflug, Flügelschargrubber mit Rotoregge und Direktsaat) und fünf Standorte (Gießen, Hassenhausen, Bruchköbel, Wernborn und Ossenheim) ausgewählt. Die jeweiligen Bodenbearbeitungsvarianten wurden auf den o.g. Standorten auf ihre N-Gehalte im Herbst und Frühjahr untersucht. Die N-Düngeempfehlung wurde nach der Nmin- bzw. nach der EUF-Methode aufgestellt, und die Erträge wurden ausgewertet.

Fragestellungen:

Angeichts der zunehmenden Grundwasserbelastung durch die Auswaschung von Düngernitrat ist eine umweltgerechte Stickstoffdüngung zwingend erforderlich. Um dieses Ziel zu erreichen, muß die Düngeempfehlung so gestaltet werden, daß der Düngestickstoff effektiver ausgenutzt wird. So eventuell wird eine Einsparung an Düngemittel ermöglicht. Beispielsweise ist bei Direktsaat eine Einsparung an Düngemittel bei der Schoss- und Spätgabe zu Getreide sinnvoll (Hütsch 1991), denn zu diesem Zeitpunkt wird im ungepflügten Boden der organische Stickstoff verstärkt mineralisiert. Um breitere Erkenntnisse in diesem

Zusammenhang zu erlangen, wurde in der vorliegenden Arbeit auf folgende Fragen eingegangen:

1. Führt die Art der Bodenbearbeitung zu nachhaltigen Veränderungen im Gehalt des mineralischen Stickstoffs und des EUF-Norg (organischer N, der mit EUF extrahiert wird) im Boden?
2. Wie wirken sich unterschiedliche Bodenbearbeitungssysteme auf die N-Düngeprognose aus?
3. Wie wirkt sich die Bedarfsprognose nach der Nmin-Methode bzw. nach dem Gießener Modell quantitativ und qualitativ auf den Ertrag von Kulturpflanzen aus?
4. Welchen Einfluß hat die Art der Bodenbearbeitung auf die Ertragsbildung von Kulturpflanzen?

Diese Problemstellung sollte dahingehend bearbeitet werden, daß ein sinnvolles Bodenbearbeitungskonzept wie auch ein optimales Düngungskonzept empfohlen wird, wobei auch die edaphischen und klimatischen Gegebenheiten des Standortes Berücksichtigung finden.

2. Material und Methoden

2.1 Versuchsanlage und Durchführung

Die Feldversuche wurden vom Institut für Landtechnik der Justus-Liebig-Universität (J.L.U.) in Gießen im Rahmen des im Kapitel 1 erwähnten Projektes des Bundesministeriums für Forschung und Technik durchgeführt. An dem interdisziplinären Forschungsvorhaben beteiligten sich sechs Institute der J.L.U. (Abb. 1). Objekte der Untersuchungen waren sieben Versuchsstandorte in Hessen mit unterschiedlichen klimatischen und edaphischen Bedingungen.

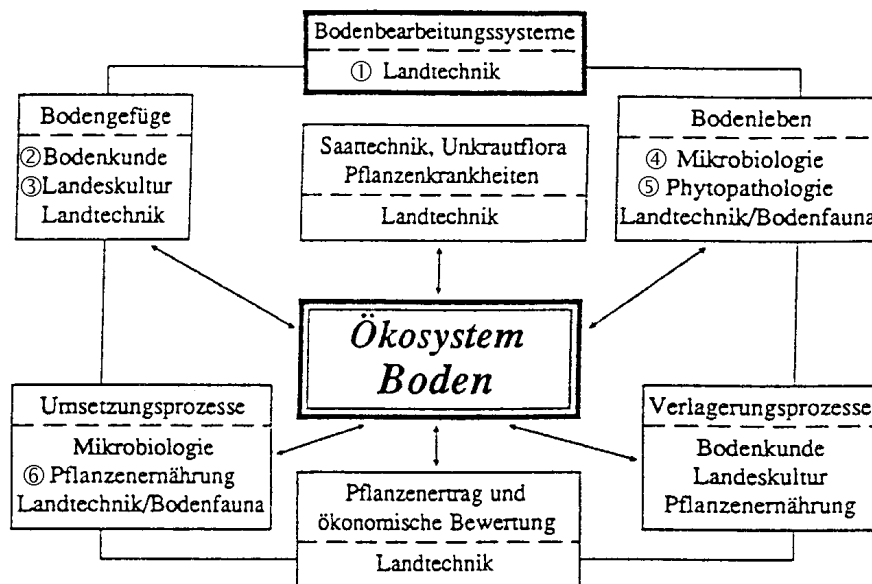


Abb. 1: Wechselwirkungen von Bodenbearbeitungssystemen auf das Ökosystem Boden

2.1.1. Versuchsstandorte und Witterungsverlauf im Versuchszeitraum

Fünf Standorte wurden für die Durchführung der eigenen Untersuchungen ausgewählt. Die Böden wurden differenziert bearbeitet seit 1979 (Wernborn, Bruchköbel und Ossenheim) bzw. seit 1986 (Gießen-Hardthof) und seit 1989 (Hassenhausen).

Tab. 1: Bodencharakteristik der Standorte

| Standort | Bodenart | Sand (%) | Schluff (%) | Ton (%) | pH | C/ N | Ct (%) | N (mm) | T° (°C) |
|-------------------|-----------------|---------------------|------------------------|--------------------|-----------|-------------|-------------------|-------------------|--------------------|
| Bruchköbel | US | 65.0 | 29.3 | 5.7 | 5.5 | 9.3 | 0.66 | 600 | 9.0 |
| Gießen | TL | 16.0 | 53.0 | 31.0 | 6.6 | 9.1 | 1.65 | 600 | 8.9 |
| Hassenh. | TU | 20.0 | 67.3 | 12.2 | 6.7 | - | 1.20 | 630 | 8.0 |
| Wernborn | UL | 17.6 | 55.9 | 26.5 | 4.9 | 8.9 | 1.10 | 630 | 7.6 |
| Ossenheim | UL | 11.5 | 67.3 | 21.2 | 7.3 | 8.7 | 1.59 | 580 | 9.0 |

N: Niederschlagsmenge

T°: Temperatur

Die Bodencharakteristika und Kenndaten sind der Tab.1 zu entnehmen (Hütsch, 1991). Es handelte sich um einen Lößlehm Boden mit Tonschieferbeimengung (Wernborn), zwei weitere Lößlehm Böden (Hassenhausen und Ossenheim), einen Auenboden (Gießen) und einen Sandboden aus Flugsand (Bruchköbel). Bodentypologisch können die einzelnen Standorte wie folgt bezeichnet werden (Dumbeck, 1986; Richter, 1995).

| | |
|--------------|---|
| Bruchköbel: | Braunerde |
| Gießen | Brauner Auenboden |
| Hassenhausen | Parabraunerde, sehr schwach pseudovergleyt |
| Ossenheim | Tschernosem-Parabraunerde mit vergleytem Unterboden |
| Wernborn | Erodierte Parabraunerde, pseudovergleyt |

In der Tab.2 sind die in dem Versuchszeitraum (1989-1992) angebauten Pflanzenarten angeführt.

Tab. 2: Untersuchte Pflanzenarten im Versuchszeitraum (1989-1992)

| Jahr | Bruchköbel | Gießen | Hassenhausen | Ossenheim | Wernborn |
|------------------|-------------------|---------------|---------------------|------------------|-----------------|
| 1989-1990 | Winterweizen | Wintergerste | Wintergerste | - | Winterweizen |
| 1990-1991 | Körnermais (S) | Silomais (S) | - | - | Winterweizen |
| 1991-1992 | - | Winterweizen | Winterweizen | Winterweizen | - |

(S): Zwischenfrucht Senf

Für die Feststellung kausaler Zusammenhänge zwischen der Konzentration verschiedener Fraktionen des Bodenstickstoffs und der Witterung wurden die Temperatur und die Niederschlagsmengen berücksichtigt. Auf unterschiedlichen Standorten wurden die durchschnittlichen monatlichen Temperaturen und Niederschlagsmengen zwischen November und April des jeweiligen Jahres registriert.

2.1.1.1. Standort Gießen

Tab. 3: Winterliche Temperaturen und Niederschläge am Standort Gießen

| Jahr | November | | Dezember | | Januar | | Februar | | März | | April | |
|----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | T (°C) | N (mm) | T (°C) | N (mm) | T (°C) | N (mm) | T (°C) | N (mm) | T (°C) | N (mm) | T (°C) | N (mm) |
| 1989/90 | 1,1 | 46,6 | 0,3 | 83,7 | 0,8 | 37,6 | 1,1 | 98,9 | 2,3 | 13,1 | 2,4 | 30,9 |
| 1990/91 | 2,5 | 81,1 | -1,7 | 65,5 | -1,6 | 57,6 | -8,0 | 18,7 | 2,8 | 42,7 | 1,1 | 29,7 |
| 1991/92 | 1,3 | 69,9 | -2,4 | 60,7 | -0,7 | 23,3 | -0,4 | 16,9 | 0,6 | 93,0 | 2,5 | 31,1 |

T: Lufttemperatur (°C)

N: Niederschlagshöhe (mm)

Auf dem Standort Gießen waren die Witterungsverhältnisse von Jahr zu Jahr unterschiedlich. Im Versuchsjahr 1989/90 wurde lediglich im November frostige Temperatur gemessen (Tab. 3). Von Dezember 1989 bis April 1990 lag die Temperatur zwischen 0,3 und 2,4 °C. Im selben Zeitraum waren relativ hohe Niederschläge vorhanden: 83,7 mm im Dezember, 98,9 mm im Februar.

Im Versuchsjahr 1990/91 wurden in Gießen niedrigere Temperaturen als im Vorjahr registriert. Während in Dezember -1,7°C, im Januar -1,6°C und im Februar -8,0°C gemessen wurde, gab es in November, März und April keinen Frost. Die höchsten Niederschlagsmengen lagen in November (81,1 mm), Dezember (65,5 mm) und Januar (57,6 mm) vor.

Im Versuchsjahr 1991/92 wurden frostige Temperaturen von Dezember bis Februar registriert. November 1991 sowie März und April 1992 lagen die mittleren Temperaturen über dem Gefrierpunkt. Die höchsten Niederschlagsmengen wurden im November 1991 (69,9 mm) und im März 1992 (93,0 mm) gemessen.

2.1.1.2. Standort Wernborn

Auf dem Standort Wernborn wurden Frosttemperaturen von November 1989 bis Januar 1990 gemessen. Zugleich wurden im Dezember 101,6 mm Niederschlag registriert (Tab. 4). Von Februar bis April stiegen die Temperaturen über den Gefrierpunkt. Dabei fiel im Februar Niederschlag in Höhe von 113,4 mm.

Tab. 4: Winterliche Temperaturen und Niederschläge am Standort Wernborn

| Jahr | November | | Dezember | | Januar | | Februar | | März | | April | |
|----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | T (°C) | N (mm) | T (°C) | N (mm) | T (°C) | N (mm) | T (°C) | N (mm) | T (°C) | N (mm) | T (°C) | N (mm) |
| 1989/90 | -0,2 | 48,5 | -0,6 | 101,6 | -1,7 | 27,5 | 0,7 | 113,4 | 1,8 | 22,4 | 1,2 | 53,6 |
| 1990/91 | 1,3 | 109,9 | -3,2 | 83,5 | -1,9 | 55,2 | -6,7 | 37,0 | 2,1 | 40,7 | 0,8 | 21,7 |

T: Lufttemperatur (°C)

N: Niederschlagshöhe (mm)

Im Versuchsjahr 1990/91 wurde im November bei 1,3°C ca. 110 mm Niederschlag gemessen. Von Dezember 1990 bis Februar 1991 waren Frosttemperaturen bis -6,7°C vorhanden. In März und April 1991 lagen die Temperaturen über dem Gefrierpunkt. Mit Ausnahme von Dezember 1990 fielen relativ niedrige Niederschläge (Tab. 4).

2.1.1.3. Standort Bruchköbel

Hier waren im Versuchsjahr 1989/90 lediglich in November und Dezember (bei 102,8 mm Niederschlag) Frosttemperaturen zu verzeichnen (Tab. 5). Von Januar bis April 1990 wurden Temperaturen über dem Gefrierpunkt gemessen; dabei fielen in Februar 117,5 mm Niederschlag.

Im Versuchsjahr 1990/91 lagen die Temperaturen im November 1990 sowie in März und April 1991 über dem Gefrierpunkt. Von Dezember 1990 bis Februar 1991 hingegen waren Frosttemperaturen vorhanden (Tab. 5). Die höchsten Niederschlagsmengen wurden im November 1990 (86,5 mm), im Dezember 1990 (84,6 mm) und im Januar 1991 (68,0 mm) registriert.

Tab. 5: Winterliche Temperaturen und Niederschläge am Standort Bruchköbel

| Jahr | November | | Dezember | | Januar | | Februar | | März | | April | |
|----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | T (°C) | N (mm) | T (°C) | N (mm) | T (°C) | N (mm) | T (°C) | N (mm) | T (°C) | N (mm) | T (°C) | N (mm) |
| 1989/90 | -0,9 | 55,4 | -0,2 | 102,8 | 0,8 | 34,3 | 0,7 | 117,5 | 2,3 | 10,5 | 2,6 | 52,7 |
| 1990/91 | 3,0 | 86,5 | -1,2 | 84,5 | -0,6 | 68,0 | -6,9 | 27,0 | 2,5 | 36,5 | 2,1 | 42,0 |

T: Lufttemperatur (°C)

N: Niederschlagshöhe (mm)

2.1.1.4. Standort Hassenhausen

In den beiden Versuchsjahren (1989/90 und 1991/92) wurden relativ milde Temperaturen registriert (Tab. 6). Die höchste lag im April 1992 (+7,4°C) und die niedrigste im Februar 1992 (-3,7°C) vor. Die höchsten Niederschlagsmengen (104,7 mm) wurden im Dezember 1991 und die niedrigsten (11,8 mm) im März desselben Jahres gemessen.

Tab. 6: Winterliche Temperaturen und Niederschläge am Standort Hassenhausen

| Jahr | November | | Dezember | | Januar | | Februar | | März | | April | |
|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | T (°C) | N (mm) | T (°C) | N (mm) | T (°C) | N (mm) | T (°C) | N (mm) | T (°C) | N (mm) | T (°C) | N (mm) |
| 1989/90 | 2,2 | 28,1 | 3,8 | 68,4 | 2,4 | 33,7 | 3,4 | 104,3 | 6,5 | 11,8 | 7,1 | 33,1 |
| 1990/91 | 4,3 | 56,4 | 0,5 | 42,5 | 0,8 | 49,5 | -3,7 | 20,9 | 5,5 | 27,8 | 6,4 | 18,2 |
| 1991/92 | 3,5 | 53,1 | -0,1 | 31,1 | 0,8 | 26,0 | 2,2 | 13,1 | 4,4 | 59,0 | 7,4 | 27,0 |

T: Lufttemperatur (°C)

N: Niederschlagshöhe (mm)

2.1.1.5. Standort Ossenheim

In Ossenheim wurden zwischen Dezember 1991 und Februar 1992 frostige Temperaturen bei relativ niedrigen Niederschlägen gemessen (Tab. 7). Im Gegensatz dazu lagen in November 1991, März 1992 und April 1992 höhere Temperaturen vor (zwischen 0,3°C und 2,1°C). Die höchsten Niederschläge wurden im November 1991 (66,2 mm) und im März 1992 (67,6 mm) registriert (Tab. 7).

Tab. 7: Winterliche Temperaturen und Niederschläge am Standort Ossenheim

| Jahr | November | | Dezember | | Januar | | Februar | | März | | April | |
|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | T (°C) | N (mm) | T (°C) | N (mm) | T (°C) | N (mm) | T (°C) | N (mm) | T (°C) | N (mm) | T (°C) | N (mm) |
| 1991/92 | 1,7 | 66,2 | -2,2 | 44,7 | -1,0 | 22,4 | -0,9 | 14,3 | 0,3 | 67,6 | 2,1 | 32,6 |

T: Lufttemperatur (°C)

N: Niederschlagshöhe (mm)

2.1.2. Bodenbearbeitung

Auf den o.g. Versuchsstandorten wurden drei Bodenbearbeitungsvarianten in die Stickstoffuntersuchungen und die N-Düngung einbezogen: die Pflugvariante (P), der Flügelschargrubber mit Rotoregge (FR) und die Direktsaat (D). Eine Ausnahme bildete der Standort Ossenheim (1992), wo auf der Pflugvariante aus technischen Gründen kein N-Düngungsversuch durchgeführt werden konnte. Ein wesentlicher Unterschied zwischen den Bearbeitungsverfahren besteht in der Eingriffsintensität:

Das **Pflügen (P)** (konventionelles Verfahren) ist eine wendende Bodenbearbeitungsmethode. Der Boden wird bis 25 cm Tiefe angehoben und um 135° gewendet. Zum Einebnen und Krümeln des Saatbettes dient die Bearbeitung mit einer Eggenkombination in einem zweiten Arbeitsgang.

Der **Flügelschargrubber mit Rotoregge (FR)** ist zwar kein wendendes Verfahren, aber die Arbeitstiefe beträgt so wie beim Pflügen 25 cm. Der angehobene Boden wird bis zu 10 cm

Tiefe mit einem Messerzinkenrotor gekrümelt und gemischt. Eine Rückverdichtung erfolgt mittels einer nachlaufenden Packerwalze.

Die **Direktsaat (D)** schließt jede Bodenbearbeitung aus. Nur der Saatvorgang wird gewährleistet. Ein 3 cm tiefer Säschlitz wird mit einem Scheibensech gezogen; mit zwei nachfolgenden schräg angestellten Scheiben wird das Einfallen von Saatgut in den Schlitz ermöglicht. Der Boden rieselt nach und bedeckt das Saatgut.

2.1.3. Anlage der Bodenbearbeitungsvarianten

Die Bodenbearbeitungsvarianten wurden in Langparzellen angelegt, deren Breite je nach Standort variierte. Die jeweiligen Bearbeitungspartzellen wurden innerhalb des Standortes unterteilt. Somit konnten die Düngungspartzellen auf den gegebenen Standorten relativ gut verstreut werden.

2.1.4. Anlage der Düngungspartzellen

Auf jedem Versuchsstandort wurden zwei Langparzellen von jeder Bearbeitungsvariante für die Untersuchungen benötigt. Auf jeder Langparzelle wurden zwei Versuchsflächen bestimmt. Somit standen je Standort und Bodenbearbeitungsvariante vier Versuchsflächen zur Verfügung. Auf dem Standort Gießen wurde ausnahmsweise nur eine Langparzelle je Bodenbearbeitungsvariante einbezogen. Daher befanden sich vier Versuchsflächen auf jeder Bearbeitungspartzelle.

Die Versuchsflächen wurden in drei Düngungspartzellen unterteilt: eine nach Nmin gedüngte, eine nach EUF gedüngte und eine nicht gedüngte Parzelle.

2.1.5. Düngung der Versuchspartzellen

Dank des Einsatzes von Exaktstreuern konnten bei der betriebsüblichen N-Düngung die Versuchsflächen ausgespart bleiben. Die durch Bodenanalyse nach Nmin bzw. nach EUF empfohlenen N-Mengen wurden in Form von Kalkammonsalpeter per Hand auf die Partzellen gestreut.

2.1.6. Versuchsernten

2.1.6.1. Getreideernte

Die Getreideernte von Versuchspartzellen erfolgte mit einem Partzellenmähdrescher. In der Mitte der Partzellen wurde ein 1,35 m breiter Streifen geerntet dessen, Länge im Anschluß daran gemessen wurde. Für die weitere Verarbeitung wurden die Körner in Säcken aufgefangen. Die Ermittlung des Getreideertrages erfolgte unmittelbar auf den Partzellen. Strohproben wurden für die weitere Verarbeitung erhoben. Auf den Standorten Ossenheim und Hassenhausen wurde 1992 ein 1 m² Holzrahmen für die Ernte verwendet. Die Größe der geernteten Flächen richtete sich nach dem Partzellenumfang. Das Erntegut wurde in Säcke gefüllt, und im Lager erfolgten das Dreschen und die Ertragsermittlung für Stroh und Körner. Kornproben wurden im Anschluß gewonnen; ein Teil davon diente nach Trocknung im

Umlufttrockenschrank bei 120°C zur Ermittlung der Trockenmasse. Anschließend mußte der Ertrag auf 16% Feuchtigkeit umgerechnet werden. Strohproben wurden auch getrocknet, um die T.M. (Trockenmasse) zu bestimmen. Das Pflanzenmaterial (Korn und Stroh) wurde für die nachfolgenden Laboranalysen gemahlen.

2.1.6.2. Maisernte

Bei der Maisernte wurden 5 laufende Meter in dreifacher Wiederholung in jeder Parzelle geerntet. Um den Frischmasseertrag zu ermitteln wurde das Erntegut unmittelbar danach gewogen. Fünf Pflanzen je Parzelle wurden für die Analysen genommen, im Lager gehäckselt und durchgemischt. Von dem Gemisch wurden Proben entnommen, bei 120°C getrocknet und für die Analysen gemahlen.

Beim Körnermais (Bruchköbel, 1991) mußten die Kolben von den geernteten Maispflanzen abgetrennt werden. Nach der Feststellung des Kolbenenertrages wurden 5 Kolben je Parzelle gehäckselt, getrocknet und für die Analysen gemahlen.

2.2. Bodenuntersuchungen

2.2.1. Bodenprobennahme

2.2.1.1. Bodenprobennahmetermine

Die Bodenprobennahmetermine wurden nach der N-Düngeempfehlungsmethode vorgenommen (Wehrmann und Scharpf, 1979 bzw. Barekzai et al., 1992).

2.2.1.1.1. EUF-Methode (Gießener Modell)

Strebt man eine N-Düngung nach dem Gießener Modell an, so muß die Probennahme im Spätherbst des Vorjahres erfolgen (Barekzai et al., 1992). Zu diesem Zeitpunkt, bei niedrigen Temperaturen, wird der Abbau der organischen Substanz stark gehemmt. Aus diesem Grund ist im nachfolgenden Winter kaum eine Veränderung des Gehaltes an mineralischem Stickstoff im Oberboden zu erwarten.

In milderen und niederschlagsreicheren Wintern kann die N-Umsetzung andauern und zur Auswaschung des mineralischen Stickstoffs führen. Ist der Winter jedoch kalt, so ist eine intensive Mineralisation erst im Spätwinter und im Frühjahr möglich.

Bei Bodenprobennahme im Herbst konnte Appel (1991) die verfügbare N-Menge nur dann präziser abschätzen, wenn der organische Stickstoff berücksichtigt wurde. Dieser Befund bestätigte die von Horn (1990) observierte Beteiligung der organischen Stickstofffraktion an der N-Versorgung vom Mais. Die Nachlieferung kann anhand des Norg-Gehaltes im Herbst geschätzt werden. Dank dieses Befunds, so meinen die Befürworter des Gi-Modells, kann der N-Bedarf für die Vegetationsperiode schon im Herbst ermittelt und dadurch Zeit gespart werden. Appel (1991) bewertet 1kg Norg im Dezember wie 1kg Dünger-N in Form von Kalkammonsalpeter.

2.2.1.1.2. Nmin-Methode

Für eine Düngung nach der Nmin-Methode erfolgt die Bodenprobennahme zum Vegetationsbeginn. Der zu diesem Zeitpunkt im Wurzelraum befindliche Nitratstickstoff ist zum größten Teil den Pflanzen zugänglich. Durch diese späte Beprobung, so die Nmin-Befürworter, können die ungenauen N-Empfehlungen vermieden werden, die durch winterliche Auswaschung bei einer Probennahme im Spätherbst verursacht werden können. Die Untersuchungen von Aufhammer et al. (1989) belegten die starke Gehaltabnahme (ca. 40 %) an Nitrat bei fehlender Vegetation.

Dem organischen Stickstoff im Frühjahr wird bei der Nmin-Düngeempfehlung keine Bedeutung eingeräumt. Er wird in der Düngebedarfsberechnung nicht mit einbezogen.

2.2.1.2. Probennahmetiefe

Die Probennahmetiefe wurde ebenso wie der Probennahmetermin an die N-Düngeempfehlungsmethode angepaßt.

2.2.1.2.1. EUF-Methode

Beim Gießener Modell beträgt die Bodenprobennahmetiefe 30 cm. Je flacher der Boden beprobt wird, desto geringer ist die Gefahr, daß sich die erfaßte N-Menge zum Frühjahr unterhalb der Wurzelzone befindet. In gepflügten Böden, bedingt durch die schnellere Mineralisation und die Wasserinfiltration, ist damit zu rechnen, daß der im Herbst in 60-90 cm Tiefe befindliche mineralische Stickstoff bis zum Frühjahr ausgewaschen wird. Für eine sichere Düngeempfehlung anhand von im Herbst gezogenen Bodenproben ist der Gehalt an mineralischem Stickstoff und EUF-Norg zu berücksichtigen. Laut Untersuchungen von Nemeth (1988) und Ziegler (1989a) ist die Verhältniszahl aus dem EUF-extrahierbaren $\text{NH}_4\text{-N}$ und Norg der 80°C-Fraktion dividiert durch die entsprechenden Gehalte der 20°C-Fraktion, genannt „Norg-Quotient“, von großer Bedeutung. Appel und Mengel (1990) berechnete die EUF-Norg-Quotienten nach Analysen im Herbst und stellte einen signifikant positiven Beitrag zur Erklärung der Variation der N-Aufnahme des Getreides fest. Bei einem Unterschied von 0,1 Einheiten des Norg-Quotienten, so Appel und Mengel (1990), war eine um 12 kg N/ha höhere N-Aufnahme zu erwarten. Auch Ziegler (1989b) deutete mit steigenden Werten des EUF-Norg-Quotienten auf eine höhere N-Nachlieferung hin. Das Prinzip des Gießener Modells besagt, daß der in 30 cm Tiefe im Spätherbst vorhandene organische Stickstoff in der Vegetationsperiode in 0-90 cm Tiefe als mineralischer Stickstoff den Pflanzen zugänglich wird (Barekzai et al., 1992).

2.2.1.2.2. Nmin-Methode

Hierbei beträgt die Probenahmetiefe 90 bzw. 100 cm (Wehrmann und Scharpf, 1986). Der Bodeneinstich wird in drei Schichten unterteilt: 0-30 cm, 30-60 cm und 60-90 cm. Appel und Mengel (1990) bestätigte den Befund von Wehrmann und Scharpf (1979), demzufolge eine enge Korrelation zwischen dem anorganischen Stickstoff (0-90 cm) und der N-Aufnahme besteht. Letztere Autoren untersuchten mehrere Ackerböden in Niedersachsen und stellten in

ungedüngten Parzellen eine enge Korrelation zwischen dem Nitratgehalt in 0-100 cm Tiefe und der Stickstoffaufnahme fest. Am Ende des Winters, so Wehrmann und Scharpf (1979), befindet sich die Masse des anorganischen Stickstoffs unterhalb der Krume, nämlich zwischen 40 und 100 cm Tiefe. Die Anhäufung von mineralischem Stickstoff in einer überdachten Brache und die Abnahme auf bewachsenen Flächen lieferten den Nachweis sowohl der N-Nachlieferung als auch der N-Aufnahme.

Die N_{min}-Befürworter räumen lediglich dem im Wurzelraum (0-90 cm) vorhandenen Nitrat-N eine Relevanz für die N-Düngeprognose ein.

2.2.1.3. Mineralisationsversuch

Zur Messung des Mineralisationsverlaufs im Sommer 1991 wurden im Maisbestand Bodenproben bis zu 30 cm Tiefe gezogen. Beim Herauskratzen des Bodenmaterials ist der Bohrstockinhalt in zwei Schichten unterteilt worden: 0-15 cm und 15-30 cm. Die auf diese Weise gewonnenen Bodenproben sind nach Trocknung mittels der EUF-Methode auf ihren Nitrat- und Norg-Gehalt untersucht worden.

2.2.2. Stickstoffextraktion in den Bodenproben

2.2.2.1. N_{min}-Methode

2.2.2.1.1. Aufbereitung der Proben

Die Bodenproben wurden am Versuchsfeld in Plastiktüten eingepackt, in verschlossenen Tüten kühl gelagert (0-4°C) oder bei Bedarf tiefgefroren. Das feldfeuchte Bodenmaterial wurde durch ein 4-mm-Sieb gesiebt und homogenisiert. 400 g dieses Bodens waren nach Trocknung für die Ermittlung der Trockenmasse nötig. 40 g des feldfeuchten Bodenmaterials wurden in 250-ml-Plastikflaschen für die Analysen eingewogen.

2.2.2.1.2. Extraktion

Die Extraktion erfolgte nach Wehrmann und Scharpf (1979). 40 g feldfeuchten Bodens wurden in Flaschen mit 160 mm 0,01 M CaCl₂ versetzt. Die Flaschen wurden 60 bis 90 Minuten über Kopf geschüttelt. In 50-ml-Flaschen erfolgte die Filtration der Extrakte. Hierzu dienten ammoniumfreie Filter. Die ersten Filtrattropfen wurden verworfen.

2.2.2.2. EUF-Methode

2.2.2.2.1. Aufbereitung der Proben

Sollten die für die EUF-Analysen bestimmten Bodenproben nicht sofort bearbeitet werden, so mußten sie tiefgefroren werden. Bei Bearbeitung innerhalb von zwei bis vier Tagen nach der Probennahme war eine Kühlagerung hinreichend.

Das feuchte Bodenmaterial wurde per Hand zerkleinert und vermischt. 100 g davon wurden in Tellern eingewogen und bei 40°C im Umlufttrockenschrank getrocknet. Die Trocknung

dauerte ca. 36 Stunden. Das getrocknete Material wurde feingemahlen und auf ein 1-mm-Sieb abgesiebt. Die trockenen Proben wurden in Plastiktüten für die Extraktion aufbewahrt.

2.2.2.2.2. Extraktion

Zur Extraktion wurde die von Nemeth (1976, 1982, 1985) beschriebene EUF-Technik angewendet. Die EUF-Bodenextraktion verläuft in destilliertem Wasser. Das Gerät besitzt eine sogenannte Mittelzelle, in die 5 g trockenen Bodens eingewogen werden. Die Wasserzufuhr in die Mittelzelle erfolgt automatisch. Das Verhältnis Boden/Wasser beträgt 1:10. Ein Rührer sorgt für die Homogenität der Lösung. Die verstellbare elektrische Spannung beeinflusst die Menge der extrahierten Ionen. Die Elektroden befinden sich an die Mittelzelle angrenzenden Behältern (Außenzellen). Die Elektroden befinden sich an den Stirnflächen der Mittelzelle und sind von einem Filter abgedeckt.

Die Extraktion mit dem EUF-Gerät wurde auf zwei Stufen durchgeführt:

Stufe 1: Hier wurde eine Spannung von 200 V angelegt. Die Stromintensität betrug ca. 15 mA und die Temperatur 20°C. Die Extraktion dauerte 30 Minuten. Das Filtrat enthält sowohl einen direkt verfügbaren mineralischen N-Anteil als auch organischen Stickstoff (EUF-Norg).

Stufe 2: Hierbei wurde die Spannung auf 400 V, die Stromintensität auf 150 mA und die Temperatur auf 80°C bei 5 Minuten Extraktionsdauer gesetzt. So wurden weitere Fraktionen von mineralischem Stickstoff sowie von „Norg“ gewonnen.

Die in Stufe 1 und 2 gewonnenen Norg Fraktionen werden EUF-Norg genannt. Ihre Molekularmasse ist kleiner als 20.000 Da. Die Filter halten größere Moleküle zurück. Laut Nemeth (1982) ist die in den zwei Stufen gewonnene N-Menge für die Praxis ausreichend.

2.2.3. Bestimmung der Stickstoffgehalte (Nitrat, Ammonium und Norg)

2.2.3.1. Bestimmung der „Nmin-Gehalte“ (Nitrat- und Ammonium-N)

Die Nitrat- und Ammoniumstickstoffgehalte der Extrakte wurden mittels eines Autoanalysers der Firma „Technicon“ gemessen. Zu den Analysen werden die in Tabelle 8 zusammengestellten Lösungen benötigt. Ihre Zusammensetzung ist der Extraktionsmethode (EUF, Nmin) anzupassen.

2.2.3.1.1. Bestimmung des Nitratgehaltes

Die NO_3^- -Ionen reagieren mit Hydraziniumsulfat in Gegenwart von Cu_2 - Sulfat im alkalischen Milieu. Sie werden zu Nitrit (NO_2^-) reduziert. Diese wiederum bilden durch eine Reaktion mit Sulfanilsäure und N-(1-Naphtyl)-ethylendiamidinhydrochlorid einen Diazo-Farbstoff im sauren Milieu. Die Extinktion dieses Farbstoffs, gemessen bei 520 nm, entspricht dem Nitratgehalt.

Tab. 8: Reagenzien zur Bestimmung des Nitrat- und Ammoniumstickstoffs

| Nitrat-N | Ammonium-N |
|--|---|
| 1. Natronlauge 1: – NaOH – konz. Phosphorsäure (kein H ₃ PO ₄ -Zusatz bei EUF) – Brij35 2. Reduktionslösung: – Ammoniumsulfat (N ₂ H ₆ SO ₄) – 1,2% CuSO ₄ -Lösung 3. Colorreagenz: – Sulfanilamid – konz. Phosphorsäure – N-(1-Naphtyl)-ethylendiamindihydrochlorid | 1. Salicylat-Reagenz: – Na-Salicylat – Tri-Na-Citrat – Brij35 2. Hypochlorit: – NaOH – H ₂ O – 15%-Na-Hypochlorit 3. Nitroprussid: – Na-Nitroprussid |

2.2.3.1.2. Bestimmung des Ammoniumgehaltes

Aus der Reaktion von Ammonium-Ionen (NH₄⁺) mit Salicylat und freiem Chlor in Gegenwart von Nitroprussid bei pH 12,6-12,8 entsteht ein smaragdgrüner Komplex. Letzterer wird photometrisch bei 660 nm gemessen und stellt den Ammoniumgehalt dar. So stellten Houba et al. (1990) identische Werte mit der NH₄-sensitiven Elektrode fest.

2.2.3.2. Bestimmung des N-Gesamt- und des Norg-Gehaltes

Der Gehalt am gesamten Stickstoff wurde nach Kutscha-Lissberg und Prillinger (1982) bestimmt. UV-Strahlen und Kaliumperoxodisulfat oxidieren im alkalischen Milieu alle stickstoffhaltigen Verbindungen (Gesamt-N) zu NO₃⁻. Nachfolgend wird dieses wie oben beschrieben gemessen. Der Norg-Gehalt des Bodens entspricht der Differenz zwischen dem N-Gesamt- und dem Nmin-Gehalt (Nitrat plus Ammonium).

$$\text{Norg} = \text{N-Gesamt} - (\text{NO}_3^- \text{-N} + \text{NH}_4^+ \text{-N})$$

Bei der Messung der verschiedenen Stickstoff-Fraktionen (Nitrat, Ammonium, Gesamt-N) ist folgendes zu beachten:

- Bei der Analyse von Nmin-Extrakten ist aufgrund von erhöhtem Salzgehalt (CaCl₂) ein Verdünnungscoil einzusetzen. Die Proben werden dann im Verhältnis 1:7 verdünnt.
- Eichproben werden vorbereitet. Ihre Konzentration wird an die geschätzten N-Konzentrationen des Bodens so angepaßt, daß die Meßwerte im Eichbereich liegen.
- Kontroll- und Blindproben werden ebenfalls extrahiert und gemessen.

2.2.4. Bestimmung des fixierten Ammoniumgehaltes

Das fixierte Ammonium wurde in für EUF-Analysen aufbereiteten Bodenproben untersucht. Die Bestimmung erfolgte nach Silva und Bremmer (1966), modifiziert nach Scherer und Mengel (1979). Der Bestimmungsvorgang dauert ca. 3 Tage. Das Prinzip der Analyse beruht darauf, daß der Anteil an organischem Stickstoff und Ammonium vom Boden entfernt wird;

anschließend wird das fixierte Ammonium im HF-HCl-Aufschluß bestimmt. Hierfür werden zuerst die organischen Substanzen mit Kaliumhypobromid zerstört. Danach wird Wasser hinzugefügt und die Lösung abgekocht. Nach der Dekantierung werden die Proben wiederholt mit KCl versetzt, zentrifugiert und dekantiert. Nach Zugabe des HF-HCl-Gemisches werden die Proben geschüttelt. Zur Bestimmung des fixierten Ammoniums werden die Proben in die Destillationsanlage überführt und titriert. Als Vorlage dient eine 30%ige NaOH-Lösung. Die Titration erfolgt mit 0,005n HCl. Blindproben werden mittitriert.

2.3. Pflanzenuntersuchungen: Bestimmung des Stickstoff- und Rohproteingehaltes

Die Bestimmung des Stickstoff- und des Rohproteingehaltes in den Pflanzen wurde mit dem Stickstoffanalysator Makro-N der Firma „Heraeus“ durchgeführt. An das Gerät sind eine Waage und ein Monitor angeschlossen. Die Funktionsweise erfolgt nach der verbesserten Methode von Dumas. Die Analyse basiert auf der oxidativen Aufschlußmethode. Die Einwaage betrug 400 mg Getreidekörner (Weizen, Gerste) bzw. 600 mg Stroh (Weizen, Gerste und Mais). Die Substanz wird in CO₂-angereicherter Atmosphäre oxidiert. Dabei entstehen Zerstörungsprodukte, die im Nachverbrennungsrohr an einem CuO/Pt-Katalysator umgesetzt werden. Bei der Verbrennung entstehen aus der Probe neben dem molekularen N₂, Stickoxid, Kohlendioxid und Wasser. Die Stickoxide werden am Kupferkontakt bei 480° C zu N₂ reduziert, und der überschüssige Sauerstoff wird gebunden. Die den Reaktionsverlauf störenden Substanzen (Halogene, Schwefelverbindungen) werden an Silberwolle oder beispielsweise Bleichchromat gebunden.

Das zurückgebliebene Gemisch aus CO₂, H₂O und elementarem Stickstoff wird einer Trocknung unterzogen. Dabei erfolgt die Detektion von CO₂ und elementarem Stickstoff in einer Detektionseinheit.

Die Detektionseinheit ist sehr empfindlich gegen des Trägergas (CO₂) und verfügt über eine optimale Wärmeleitfähigkeitsmeßzelle, einen großen dynamischen Bereich und ein verbessertes Signal/Rausch-Verhältnis. Eine Kammer des Wärmeleitfähigkeitsdetektors (WLD) wird mit konstanter Strömungsgeschwindigkeit von einem Kohlendioxidgasstrom durchströmt (Referenzstrom), die andere von Kohlendioxid mit dem zu messenden N-Anteil (Meßstrom). Die zwei Kammern bilden eine Meßbrücke, deren elektrische Abweichung ein direktes Maß für den N-Anteil im Trägergas darstellt.

Zum Austarieren des Gerätes und zur Kontrolle werden Asparagin-Proben gemessen.

2.4. Statistische Verfahren und Signifikanzniveau

Zum Vergleich der Mittelwerte der gemessenen Stickstofffraktionen im Boden wurde der t-Test herangezogen. Anhand der Ertragswerte und der Gehalte an Rohprotein in Korn und Stroh wurden die verschiedenen Bodenbearbeitungsmethoden und Düngeempfehlungskonzepte mittels des Grenzdifferenz-Tests miteinander verglichen. Dabei wurde das Signifikanzniveau ($p < 5\%$) wie folgt unterteilt:

- a) schwach signifikant ($5,0\% > p \geq 4,5\%$),
- b) signifikant ($4,5\% > p \geq 1,0\%$),

c) hochsignifikant ($1,0\% > p$).

2.5. Stickstoffdüngempfehlungsmethoden

2.5.1. Die Nmin-Methode

2.5.1.1. Nmin-Methode nach Wehrmann und Scharpf

Angaben zu Probennahme, Aufbereitung, Extraktion und Messung wurden bereits in Abschnitt 2.2. erläutert. Die Meßwerte wurden auf kg N/ha umgerechnet.

Nmin-Sollwert: Anhand von N-Steigerungsversuchen wurden optimale N-Düngemengen für verschiedene Pflanzenarten ermittelt (Wehrmann und Scharpf, 1986). Sie stellen die notwendigen zum Vegetationsbeginn zur Verfügung stehenden N-Mengen dar, die einen optimalen Pflanzenertrag sichern.

N-Düngempfehlung: Für die Kalkulation der zu düngenden N-Mengen wird ausschließlich der Nitratgehalt (kg N/ha) des Bodens im Frühjahr berücksichtigt. Mit diesem Anteil wird ein Teil des Sollwerts (Bedarf) gedeckt. Der Rest (Sollwert minus Nitratgehalt) ist die zu empfehlende N-Düngemenge.

2.5.1.2. Nmin-Methode nach „SBA“ (Stickstoffbedarfsanalyse)

Beim SBA-System sind der Probennahmetermin, die Probenaufbereitung, die Extraktion und die Messung dieselben wie nach Wehrmann und Scharpf (1979), jedoch unterscheiden sich die beiden Methoden durch:

Probennahmetiefe: beim SBA-System beträgt die Probennahme 60 cm (0-30 und 30-60 cm).

N-Fraktionen: der Nitrat-N, der Ammonium-N und gegebenenfalls die organische Düngung (Gülle, Stallmist, Gründüngung) werden bei der SBA-Düngempfehlung berücksichtigt.

N-Gaben: Anhand des Sollwertes werden beim SBA-System die erste Gabe und die Höchstgrenze der zweiten Gabe festgelegt. So wie bei der Nmin-Methode wird beim SBA-System keine Empfehlung für die Spätdüngung von Stickstoff gegeben.

Anpassung des Sollwertes: Beim SBA-System wird der Sollwert an Ertragsniveau, Sorte und Bestandesentwicklung nach bestimmten Kriterien angepaßt. So wird der Sollwert bei hohem Ertragsniveau und intensiven Sorten bis zu 40 kg angehoben. Bei schwachem Bestand wird der Sollwert bis zu 15 kg mehr und bei starkem Bestand bis zu 15 kg weniger geschätzt. Die Ab- und Zuschläge sind von der Pflanzenart abhängig. Die Daten sowie weitere Informationen über das SBA-System sind Schriften der Hessischen Landwirtschaftsversuchsanstalt und dem Hessischen Landesamt für Ernährung, Landwirtschaft und Landentwicklung (HLVA, HELELL) in Kassel zu entnehmen.

2.5.1.3. Anpassung der Nmin- und SBA-Systeme an die Versuche

Um die hiesigen Untersuchungen möglichst praxisnah durchzuführen, sollten anfänglich die Ergebnisse der EUF-Stickstoffdüngung mit den betriebsüblichen verglichen werden. Es wurde

angenommen, daß die Nmin-Methode bei den Landwirten relativ einheitlich verwendet wird. Doch fielen erfahrungs- und standortbedingte methodische Abweichungen von der Nmin-Methode nach Wehrmann und Scharpf auf:

- In Bruchköbel, Wernborn und teilweise in Gießen war eine Probennahme bis 90 cm Tiefe mit den vorhandenen Geräten aufgrund des Steinanteils kaum durchführbar.
- Die Nmin-Methode nach Wehrmann und Scharpf gibt keine Düngeempfehlung zu Schosser- und Spätgabe. Die Konsequenz, die sich daraus ergibt ist, daß die gleichen Fruchtarten unter ähnlichen technischen, klimatischen und edaphischen Bedingungen unterschiedlich gedüngt werden.

Um ein einheitliches Düngungskonzept zu praktizieren, wurden an der Nmin-Methode folgende Modifizierungen vorgenommen:

- A. Die Probennahmetiefe wurde in Bruchköbel, Wernborn und Gießen auf 60 cm (0-30, 30-60) begrenzt.
- B. Die Höchstgrenzen der zweiten und der dritten Düngergabe wurden nach dem SBA-System festgelegt.
- C. Die Ammoniumfraktion wurde in die Düngeempfehlung mit einbezogen.

Das folgende Schema wurde für die Nmin-Düngeempfehlung verwendet:

1. Gabe:

| |
|---|
| $1.\text{Gabe} = \text{Sollwert} - \text{Nmin} (\text{NO}_3^- \text{-N} + \text{NH}_4^+ \text{-N})$ |
|---|

Hier wurde der Sollwert nach Wehrmann und Scharpf (1979) genommen. Als Sollwerte wurden für den Mais 160 kg N/ha, für den Winterweizen 120 kg N/ha und für die Wintergerste 80 kg N/ha angenommen.

2.Gabe: Für die zweite N-Düngergabe werden beim SBA-System Maxima vorgegeben. Ihre Höhe dient lediglich zur Orientierung und kann je nach agrotechnischen Gegebenheiten angepaßt werden. Sie beträgt beispielsweise 40 kg N/ha für Winterweizen und 0 bis 30 kg N/ha für Wintergerste.

2.5.1.4. EUF-Methode (Gießener Modell)

Die EUF-Probennahme, -Aufbereitung, -Extraktion und Analyse wurden bereits oben beschrieben. Die drei N-Fractionen (Nitrat, Ammonium und Norg) wurden in der Düngeempfehlung berücksichtigt. Das EUF-Konzept geht von der Annahme aus, daß der mineralische Stickstoff (Nitrat und Ammonium) den Pflanzen voll verfügbar ist und daß der organische N im Schossen zu $\frac{2}{3}$ und zum Ährenschieben zu $\frac{1}{3}$ mineralisiert wird (Barekzai et al., 1992). Der N-Bedarf variiert je nach Pflanzenart und beträgt 30 kg N/t Getreidekorn für Weizen, 25 kg N/t für Gerste und 40 kg N/t Frischmasse für Mais. So beträgt beispielsweise der N-Bedarf des Weizen bei einem Ertragsniveau von 6 t Korn 180 kg N. Dieser muß zur Hälfte im Frühjahr, zu einem Drittel bei der zweiten Gabe und zu einem Sechstel bei der dritten Gabe gedeckt werden. Bei der Gerste und beim Mais wurden zwei N-Gaben appliziert.

Entsprechend den o.g. Annahmen wurde die N-Düngeempfehlung nach folgendem Schema erstellt:

| | |
|----------------------|---|
| Winterweizen: | 1.Gabe (kg N/ha): $\frac{1}{2} B - N_{min} (0-30cm)$ 2.Gabe (kg N/ha): $\frac{1}{3} B - \frac{2}{3} N_{org} (0-30cm)$ 3.Gabe (kg N/ha): $\frac{1}{6} B - \frac{1}{3} N_{org} (0-30cm)$ |
| Wintergerste: | 1.Gabe (kg N/ha): $\frac{2}{3} B - N_{min} (0-30cm)$ 2.Gabe (kg N/ha): $\frac{1}{3} B - \frac{2}{3} N_{org} (0-30cm)$ |
| Mais: | 1.Gabe (kg N/ha): $\frac{2}{3} B - N_{min} (0 - 30cm) - \frac{1}{3} N_{org} (0-30cm)$ 2.Gabe (kg N/ha): $\frac{1}{3} B - N_{min} (30 - 60cm) - \frac{2}{3} N_{org} (0-30cm)$ |

Anmerkung: B = Bedarf

Ist im gegebenen Jahr eine Zwischenfrucht angebaut worden, so soll laut des Gießener Modells ein Abschlag vorgenommen werden. Die Höhe dessen beträgt für Leguminosen 40 kg N und für andere Zwischenfrüchte 30 kg N/ha (Barekzai et al. 1992). Für den Mais wurden, wie es aus dem N-Düngeempfehlungsschema hervorgeht, EUF-Bodenproben im Frühjahr (nach der Maisaussaat) bis 60 cm Bodentiefe gezogen. Ein Abschlag von 30 kg N erfolgte für den Ausgleich der Nachlieferung aus der Zwischenfrucht (Senf).

3. ERGEBNISSE

3.1. Gehalte verschiedener Stickstofffraktionen im Boden

Die Nitrat-, Ammonium- und Norg-Gehalte des Bodens werden in diesem Kapitel als wichtige Faktoren der Ertragsbildung näher betrachtet. Die hier angeführten Meßwerte werden für die Düngeempfehlung herangezogen. Sie wurden im Herbst anhand der EUF-Methode und im Frühjahr mit der Nmin-Methode gewonnen. Die Nitrat-, Ammonium- (Herbst und Frühjahr) und die Norg-Gehalte (Herbst) wurden in der Tiefe von 0-30 cm gemessen. Die Nitratwerte wurden für die im Frühjahr (Nmin-Methode) gezogenen Proben zusätzlich in der Tiefe von 30-60 cm bestimmt. Die Gehalte der verschiedenen Stickstofffraktionen bei unterschiedlicher Bodenbearbeitung und auch zu verschiedenen Probennahmeterminen (Herbst und Frühjahr) werden miteinander verglichen. Jedes Versuchsjahr und jeder Standort werden einzeln betrachtet.

3.1.1. Versuchsjahr 1989/90

3.1.1.1. Standort Gießen

3.1.1.1.1. EUF-Analysen im Herbst 1989 (0-30 cm Tiefe)

Im Herbst 1989 wurden anhand der EUF-Methode in der Pflug- und der Direktsaatvariante signifikant höhere Nitratgehalte gemessen als in der FR-Variante (Tab. 9). Die Nitratstickstoffkonzentration war in der Pflugvariante signifikant höher als unter Direktsaat. Die höchste Ammoniumstickstoffkonzentration lag in der Direktsaat- und die niedrigste in der FR-Variante vor. Die Unterschiede zwischen den Ammoniumgehalten der drei Bodenbearbeitungsvarianten waren signifikant.

In der Direktsaat wurde die gleiche Menge an EUF-Norg nachgewiesen wie in der FR-Variante. Hingegen lag eine signifikant höhere Konzentration in der Pflugvariante vor als bei den beiden erstgenannten Verfahren.

**Tab. 9: Unterschiedliche N-Fraktionen bei differenzierter Bodenbearbeitung
(in mg N/kg Boden)**

Standort: Gießen;

Probennahmetermin: Herbst 1989 (EUF-Untersuchung)

| | NO₃⁻-N (0-30 cm) GD(5%) = 0,22 | NH₄⁺-N (0-30 cm) GD(5%) = 0,22 | Norg-N (0-30 cm) GD(5%) = 3,43 |
|-----------------------|---|---|---|
| Pflug (P) | 7,51 | 5,13 | 17,55 |
| Grubber (FR) | 5,94 | 2,61 | 12,62 |
| Direktsaat (D) | 7,14 | 5,55 | 12,78 |

Vergleich der Bodenbearbeitungsmethoden:

NO₃-- N: P > D > FR ,

NH₄+ N: D > P > FR,

EUF-Norg: P > D = FR

3.1.1.1.2. Nmin-Analysen im Frühjahr 1990 (0-30 cm, 30-60 cm)

Bei den Nmin-Analysen im Frühjahr 1990 (Tab. 10) lag in der Pflugvariante die höchste Nitratkonzentration vor. Es bestand kein signifikanter Unterschied zwischen den Nitratgehalten in der Oberschicht (0-30 cm) der Pflug- und der Direktsaatvariante. In der FR-Variante war im Vergleich zu beiden ersteren signifikant weniger Nitratstickstoff vorhanden.

Tab. 10: Unterschiedliche N-Fractionen bei differenzierter Bodenbearbeitung
(in mg N/kg Boden)

Standort: Gießen

Probennahmetermin: Frühjahr 1990 (Nmin-Untersuchung)

| | NO ₃ ⁻ -N (0-30 cm) GD(5%) = 0,19 | NH ₄ ⁺ -N (0-30 cm) GD(5%) = - | NO ₃ ⁻ -N (0-30 cm) + (30-60 cm) GD(5%) = 0,52 |
|-----------------------|--|---|---|
| Pflug (P) | 1,60 | 0,00 | 3,36 |
| Grubber (FR) | 1,24 | 0,00 | 2,24 |
| Direktsaat (D) | 1,48 | 0,00 | 2,64 |

Vergleich der Bodenbearbeitungsmethoden:

NO₃--N: P = D > FR,

NH₄+--N: P = FR = D,

NO₃--N (0-60 cm): P > D = FR

Im Oberboden aller drei Bodenbearbeitungsvarianten nahm die Konzentration des Nitrat- und des Ammoniumstickstoffs zwischen Herbst und Frühjahr signifikant ab (Abb. 2 und 3).

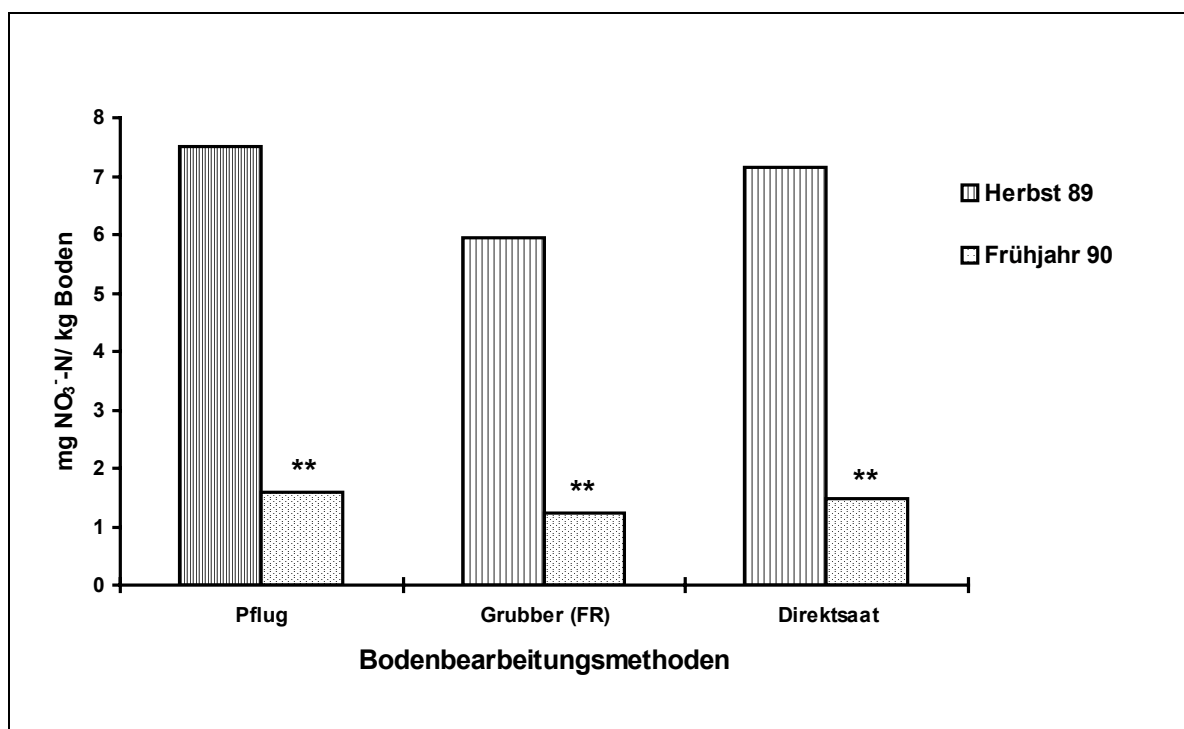


Abb. 2: Vergleich der Nitratgehalte (mg NO₃⁻/kg Boden) im Oberboden (0-30 cm) zwischen Herbst (EUF-Analyse) und Frühjahr (Nmin-Analyse), Mittelwert von vier Wiederholungen

Standort: Gießen;

Fruchtart: Wintergerste

Unterschiede zwischen den Nitratgehalten von Herbst '89 und Frühjahr '90

** signifikant

Im Frühjahr 1990 wurden in den Bodenbearbeitungsvarianten keine meßbaren Mengen an Ammoniumstickstoff festgestellt. Im Bodenprofil (0-30 cm und 30-60 cm) enthielt die

Pflugvariante eine signifikant höhere Nitratkonzentration als die Direktsaat- und die FR-Variante. Zwischen den Nitratgehalten in beiden letzteren bestand kein signifikanter Unterschied.

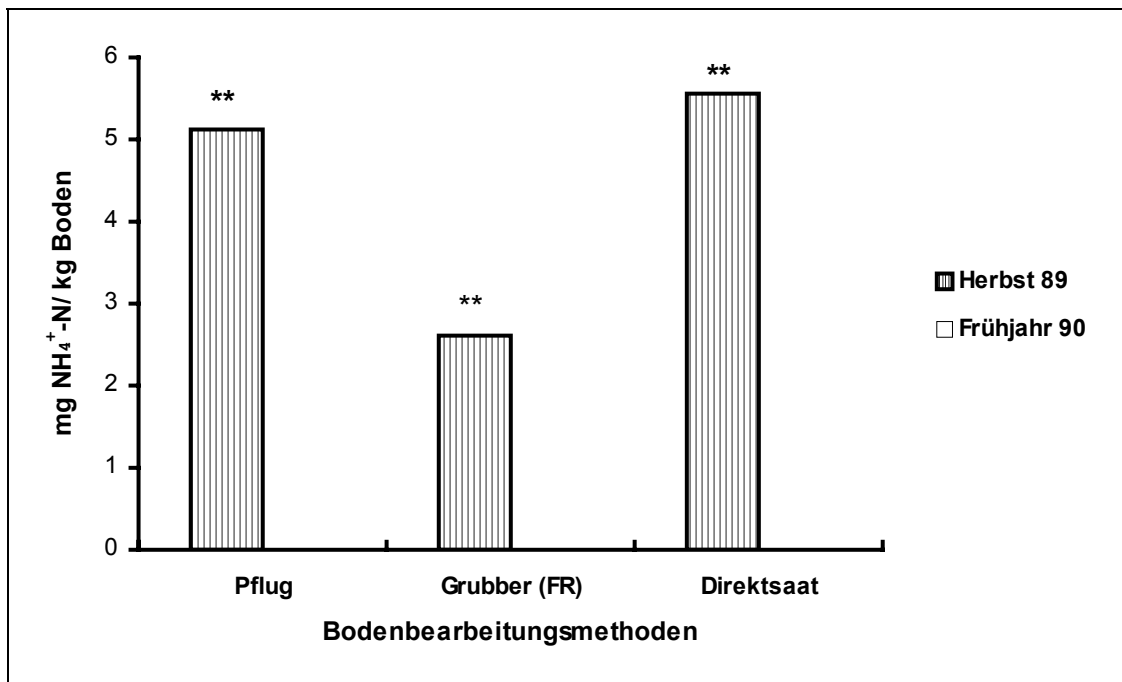


Abb. 3: Vergleich der Ammoniumgehalte (mg NH₄⁺-N/kg Boden) im Oberboden (0-30 cm) zwischen Herbst (EUF-Analyse) und Frühjahr (Nmin-Analyse), Mittelwert von vier Wiederholungen
Standort: Gießen; Fruchtart: Wintergerste
Unterschiede zwischen den Ammoniumgehalten von Herbst '89 und Frühjahr '90
** signifikant

3.1.1.2. Standort Wernborn

3.1.1.2.1. EUF-Analysen im Herbst 1989 (0-30 cm Tiefe)

Bei den EUF-Untersuchungen in Wernborn lag eine signifikant niedrigere Nitratstickstoffkonzentration im Oberboden in der Direktsaat- und eine signifikant höhere in der FR- im Vergleich zur Pflugvariante vor. Dieselbe Beobachtung galt für die gesamte Fraktion des mineralischen Stickstoffs und für den EUF-Norg-Gehalt.

Die FR-Bearbeitung brachte eine signifikant höhere EUF-Norg-Konzentration als die Pflugbearbeitung. In beiden lagen signifikant niedrigere EUF-Norg-Gehalte vor als in der Direktsaatvariante.

Bezüglich des Ammoniumstickstoffs war das Gegenteil der Fall: Die Ammoniumkonzentration in der Pflugvariante war signifikant niedriger als die der Direktsaat- und signifikant höher als die der FR-Variante (Tab. 11).

Tab. 11: Unterschiedliche N-Fractionen bei differenzierter Bodenbearbeitung (in mg N/kg Boden)

Standort: Wernborn

Probennahmetermin: Herbst 1989 (EUF-Untersuchung)

| | NO₃⁻-N (0-30 cm) GD(5%) = 0,45 | NH₄⁺-N (0-30 cm) GD(5%) = 0,21 | Norg-N (0-30 cm) GD(5%) = 0,22 |
|-----------------------|---|---|---|
| Pflug (P) | 13,73 | 1,50 | 17,55 |
| Grubber (FR) | 14,84 | 1,24 | 17,80 |
| Direktsaat (D) | 10,37 | 2,85 | 15,61 |

Vergleich der Bodenbearbeitungsmethoden:

NO₃⁻- N: FR > P > D

NH₄⁺- N: D > P > FR

EUF- Norg: FR > P > D

3.1.1.2.2. Nmin-Analysen im Frühjahr 1990 (0-30 cm und 30-60 cm)

Bei den Nmin-Untersuchungen im Frühjahr 1990 (Tab. 12) waren die Gehalte an Nitrat und an gesamtem mineralischen Stickstoff im Oberboden (0-30 cm) der Direktsaatvariante signifikant niedriger als die der Pflug- und signifikant höher als die der FR-Variante.

Tab. 12: Unterschiedliche N-Fractionen bei differenzierter Bodenbearbeitung (in mg N/kg Boden)

Standort: Wernborn

Probennahmetermin: Frühjahr 1990 (Nmin-Untersuchung)

| | NO₃⁻-N(0-30 cm) GD(5%) = 0,23 | NH₄⁺-N (0-30 cm) GD(5%) = 0,17 | NO₃⁻-N (0-30 cm) + (30-60 cm) GD(5%) = 0,27 |
|-----------------------|--|---|--|
| Pflug (P) | 3,52 | 0,80 | 7,80 |
| Grubber (FR) | 2,68 | 0,78 | 5,52 |
| Direktsaat (D) | 3,04 | 0,76 | 5,64 |

Vergleich der Bodenbearbeitungsmethoden:

NO₃⁻-N: P > D > FR

NH₄⁺- N: P = FR = D

NO₃⁻ (0- 60cm): P > D = FR

Die Nitratkonzentration (Abb. 4) und die Ammoniumkonzentration (Abb. 5) im Oberboden (0-30 cm) nahmen in allen Bodenbearbeitungsvarianten zwischen Herbst und Frühjahr signifikant ab. Zwischen den einzelnen Bearbeitungsvarianten zeigten sich im Frühjahr keine signifikanten Unterschiede im NH₄-Gehalt. Eine signifikant höhere Menge an Nitratstickstoff war im Profil (0-30 cm und 30-60 cm) der Pflug- im Vergleich zur Direktsaat- und zur FR-Variante vorhanden.

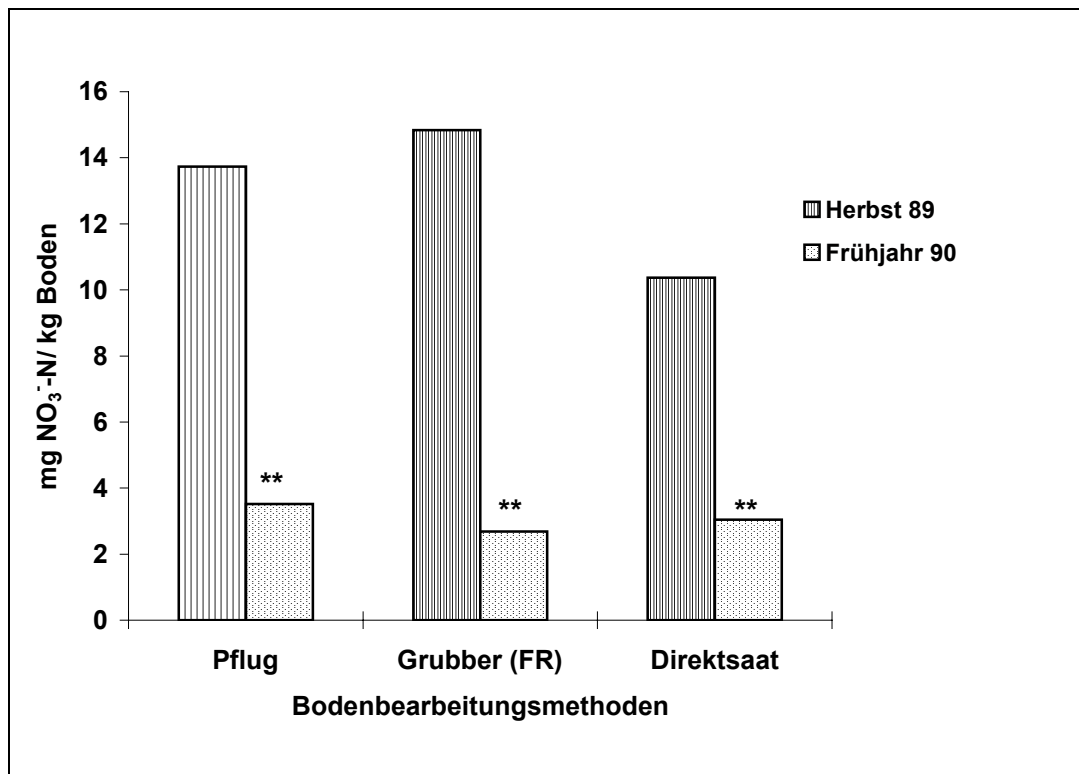


Abb. 4: Vergleich der Nitratgehalte (mg NO₃⁻/kg Boden) im Oberboden (0-30 cm) zwischen Herbst (EUF-Analyse) und Frühjahr (Nmin-Analyse), Mittelwert von vier Wiederholungen
 Standort: Wernborn; Fruchart: Winterweizen
 Unterschiede zwischen den Nitratgehalten von Herbst '89 und Frühjahr '90
 ** signifikant

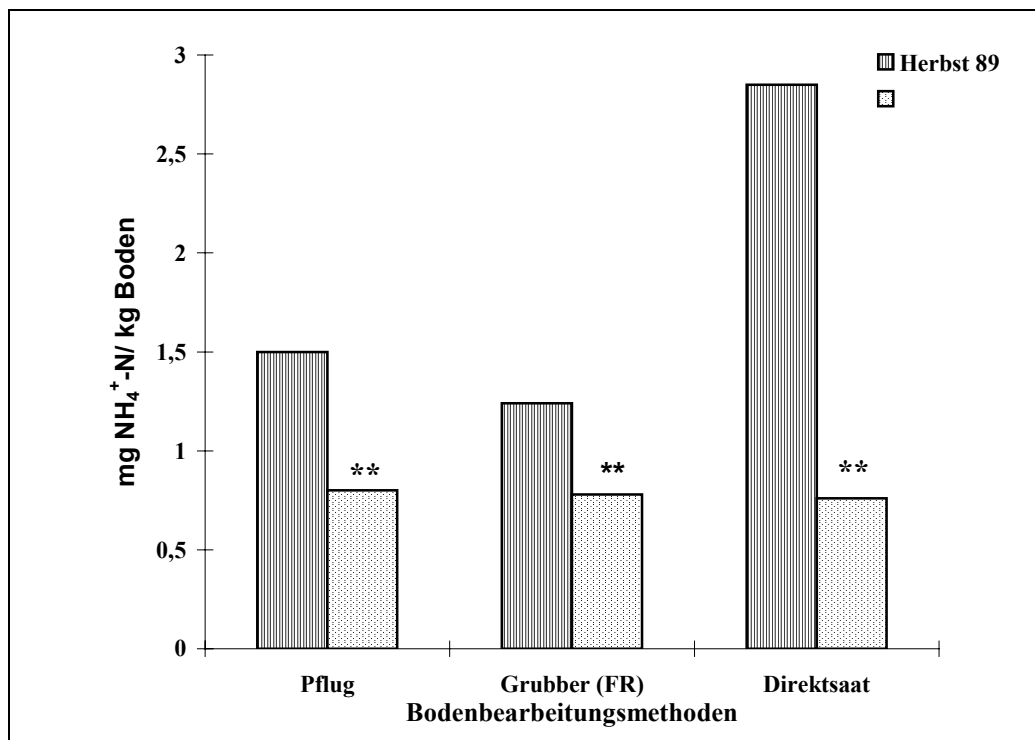


Abb. 5: Vergleich der Ammoniumgehalte (mg NH₄⁺-N/kg Boden) im Oberboden (0-30 cm) zwischen Herbst (EUF-Analyse) und Frühjahr (Nmin-Analyse), Mittelwert von vier Wiederholungen
 Standort: Wernborn; Fruchart: Winterweizen
 Unterschiede zwischen den Ammoniumgehalten von Herbst '89 und Frühjahr '90
 ** signifikant

3.1.1.3. Standort Hassenhausen

3.1.1.3.1. EUF-Analysen im Herbst 1989 (0-30 cm Tiefe)

Die EUF-Untersuchungen des Oberbodens (0-30 cm) des Standorts Hassenhausen (Tab. 13) zeigten signifikant höhere Stickstoffgehalte (Nitrat-, Ammonium- und gesamter mineralischer Stickstoff) in der Direktsaat- im Vergleich zur Pflug- und zur FR-Variante. Die letztere enthielt wiederum eine signifikant höhere Stickstoffmenge aller Fraktionen als die Pflugvariante.

Die FR-Bearbeitung brachte eine signifikant höhere EUF-Norg-Konzentration als die Pflugbearbeitung. In beiden lagen signifikant niedrigere EUF-Norg-Gehalte vor als in der Direktsaatvariante.

Tab. 13: Unterschiedliche N-Fractionen bei differenzierter Bodenbearbeitung (in mg N/kg Boden)

Standort: Hassenhausen

Probennahmetermin: Herbst 1989 (EUF- Untersuchung)

| | NO₃⁻-N (0-30 cm) GD(5%) = 0,30 | NH₄⁺-N (0-30 cm) GD(5%) = 0,20 | Norg-N (0-30 cm) GD(5%) = 0,20 |
|-----------------------|---|---|---|
| Pflug (P) | 5,66 | 2,36 | 14,02 |
| Grubber (FR) | 7,30 | 2,69 | 14,28 |
| Direktsaat (D) | 8,99 | 3,00 | 14,59 |

Vergleich der Bodenbearbeitungsmethoden:

NO₃-- N: D > FR > P,
NH₄+ N: D > FR > P,
EUF- Norg: D > FR > P

3.1.1.3.2. Nmin-Analysen im Frühjahr 1990 (0-30 cm und 30-60 cm Tiefe)

Bei den Nmin-Untersuchungen (Tab. 14) waren unter Direktsaat die Gehalte an Nitrat-N und an gesamtem mineralischen Stickstoff signifikant höher als in der Pflug- und der FR-Variante. Beide letztere enthielten statistisch ebenwertige Gehalte der genannten Stickstofffraktionen. In der Pflugvariante war jedoch weniger Nitratstickstoff und mehr mineralischer Stickstoff vorhanden als in der FR-Variante.

Tab. 14: Unterschiedliche N-Fractionen bei differenzierter Bodenbearbeitung (in mg N/kg Boden)

Standort: Hassenhausen

Probennahmetermin: Frühjahr 1990 (Nmin-Untersuchung)

| | NO₃⁻-N (0-30 cm) GD(5%) = 0,21 | NH₄⁺-N (0-30 cm) GD(5%) = 0,20 | NO₃⁻-N (0-30 cm) + (30-60 cm) GD(5%) = 8,76 |
|-----------------------|---|---|--|
| Pflug (P) | 1,08 | 0,49 | 2,02 |
| Grubber (FR) | 1,24 | 0,24 | 1,96 |
| Direktsaat (D) | 1,40 | 0,48 | 2,20 |

Vergleich der Bodenbearbeitungsmethoden:

NO₃-- N: D > P = FR
NH₄+ N: P = D > FR
NO₃-- N (0- 60 cm): P= FR= D

Eine signifikante Senkung der Konzentration des Nitrat- (Abb. 6) und des Ammoniumstickstoffs (Abb. 7) wurde zwischen Herbst und Frühjahr im Oberboden aller Bodenbearbeitungsvarianten festgestellt. Die Ammoniumstickstoffgehalte bei der Pflugbearbeitung und der Direktsaatvariante waren im Frühjahr (Abb. 7) gleich und signifikant höher als bei der Grubbertvariante (FR). Im Bodenprofil (0-30 cm und 30-60 cm) wurde zwar die höchste Nitratkonzentration in der Direktsaat- und die niedrigste in der FR-Variante festgestellt, doch waren die Gehaltsunterschiede nicht signifikant.

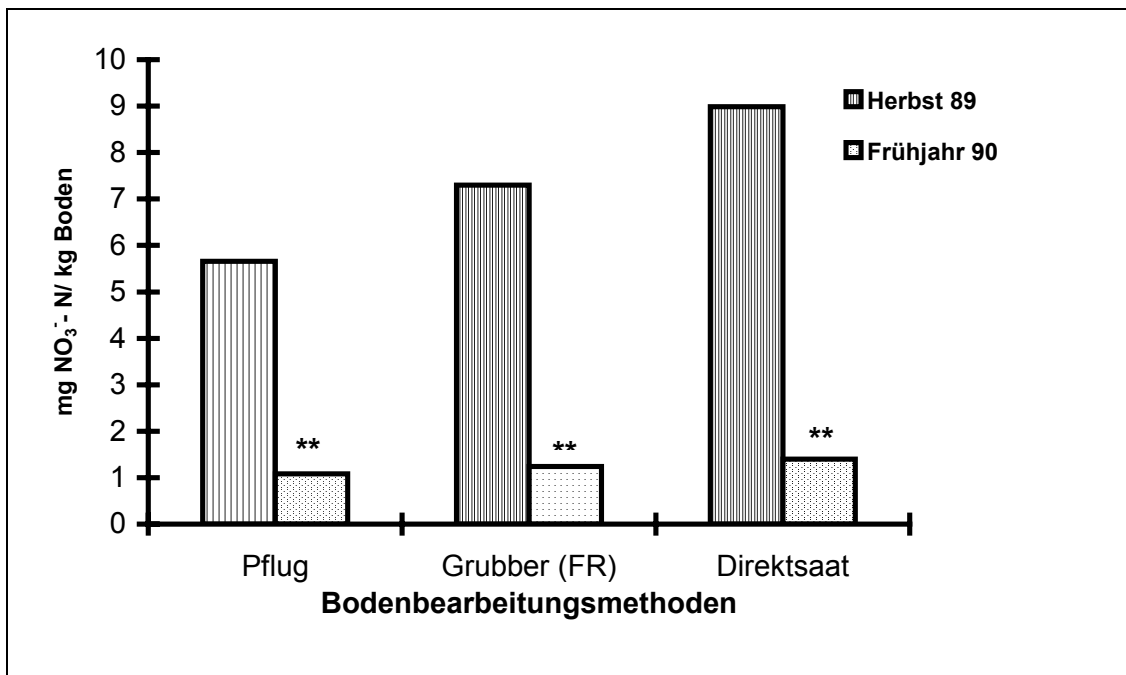


Abb. 6: Vergleich der Nitratgehalte (mg NO₃⁻/kg Boden) im Oberboden (0-30 cm) zwischen Herbst (EUF-Analyse) und Frühjahr (Nmin-Analyse), Mittelwert von vier Wiederholungen
Standort: Hassenhausen; **Fruchtart:** Wintergerste
Unterschiede zwischen den Nitratgehalten von Herbst '89 und Frühjahr '90
**** signifikant**

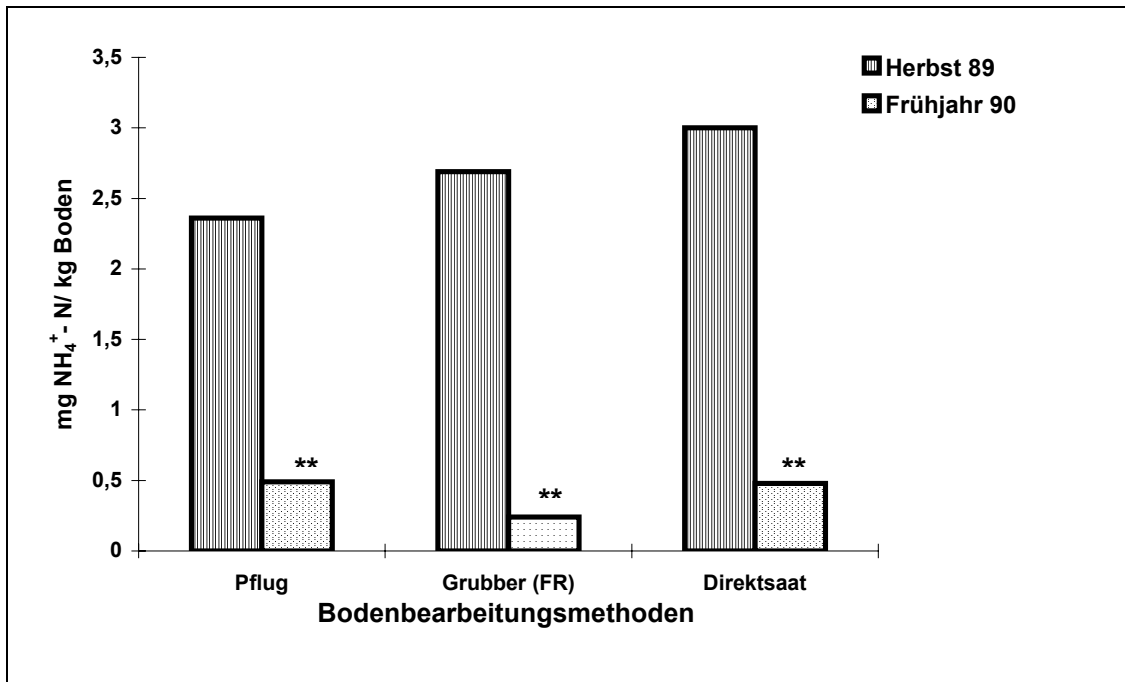


Abb. 7: Vergleich der Ammoniumgehalte (mg NH₄⁺-N/kg Boden) im Oberboden (0-30 cm) zwischen Herbst (EUF-Analyse) und Frühjahr (Nmin-Analyse), Mittelwert von vier Wiederholungen
Standort: Hassenhausen; **Fruchtart:** Wintergerste
 Unterschiede zwischen den Ammoniumgehalten von Herbst '89 und Frühjahr '90
 ** signifikant

3.1.1.4. Standort Bruchköbel

3.1.1.4.1. EUF-Analysen im Herbst 1989 (0-30 cm Tiefe)

Im Oberboden (0-30 cm) der Direktsaatvariante wurde im Herbst 1989 eine signifikant höhere Nitratkonzentration ermittelt als in der Pflug- und in der FR-Variante (Tab. 15). In der Grubbersvariante (FR) lag signifikant mehr Ammoniumstickstoff vor als in der Pflug- und der Direktsaatvariante, die statistisch ebenbürtig waren. Die Konzentration des gesamten mineralischen Stickstoffs war signifikant niedriger im gepflügten Boden im Vergleich zu den anderen Bearbeitungsmethoden. Der EUF-Norg-Gehalt war im ungepflügten Oberboden höher als im gepflügten.

Tab. 15: Unterschiedliche N-Fractionen bei differenzierter Bodenbearbeitung (in mg N/kg Boden)

Standort: Bruchköbel

Probennahmetermin: Herbst 1989 (EUF- Untersuchung)

| | NO₃⁻ - N (0- 30 cm) GD(5%) = 0,23 | NH₄⁺ - N (0- 30 cm) GD(5%) = 0,24 | Norg-N (0- 30 cm) GD(5%) = 0,20 |
|-----------------------|--|--|--|
| Pflug (P) | 2,51 | 2,72 | 6,61 |
| Grubber (FR) | 2,58 | 3,25 | 7,53 |
| Direktsaat (D) | 3,24 | 2,55 | 7,37 |

Vergleich der Bodenbearbeitungsmethoden:

NO₃-- N: D > P = FR,
NH₄+ N: FR > P = D,
EUF- Norg: FR = D > P

3.1.1.4.2. Nmin-Analysen im Frühjahr 1990 (0-30 cm und 30-60 cm)

Die signifikant höchste Menge an gesamtem mineralischen Stickstoff lag in der Direktsaat- und die signifikant niedrigste in der Pflugvariante vor. Im Frühjahr 1990 wurde der signifikant höchste Nitratgehalt unter Direktsaat ermittelt (Tab. 16).

Tab. 16: Unterschiedliche N-Fractionen bei differenzierter Bodenbearbeitung (in mg N/kg Boden)

Standort: Bruchköbel

Probennahmetermin: Frühjahr 1990 (Nmin-Untersuchung)

| | NO₃⁻ - N (0-30 cm) GD(5%) = 0,23 | NH₄⁺ - N (0-30 cm) GD(5%) = 0,20 | NO₃⁻ - N (0-30 cm) + (30-60 cm) GD(5%) = 0,22 |
|-----------------------|---|---|--|
| Pflug (P) | 1,80 | 0,36 | 5,08 |
| Grubber (FR) | 1,96 | 0,68 | 3,28 |
| Direktsaat (D) | 3,00 | 0,44 | 4,92 |

Vergleich der Bodenbearbeitungsmethoden:

NO₃-N: D > FR = P
NH₄+N: FR > D = P
NO₃-N (0- 60 cm): P = D > FR

Aus der Abb. 8 ist ersichtlich, daß die Nitratkonzentration im Oberboden zwischen Herbst 1989 und Frühjahr 1990 stabil geblieben ist. Hingegen nahm im genannten Zeitraum der Gehalt des Ammoniumstickstoffs in allen drei Bodenbearbeitungsvarianten signifikant ab (Abb. 9). Die in der Grubbervariante (FR) gemessene Ammoniumkonzentration war signifikant höher als in den anderen Bodenbearbeitungsvarianten. Bei Berücksichtigung des Profils in der Tiefe 0-60 cm waren die Nitratgehalte in der Pflug- und der Direktsaatvariante signifikant höher als in der FR-Variante.

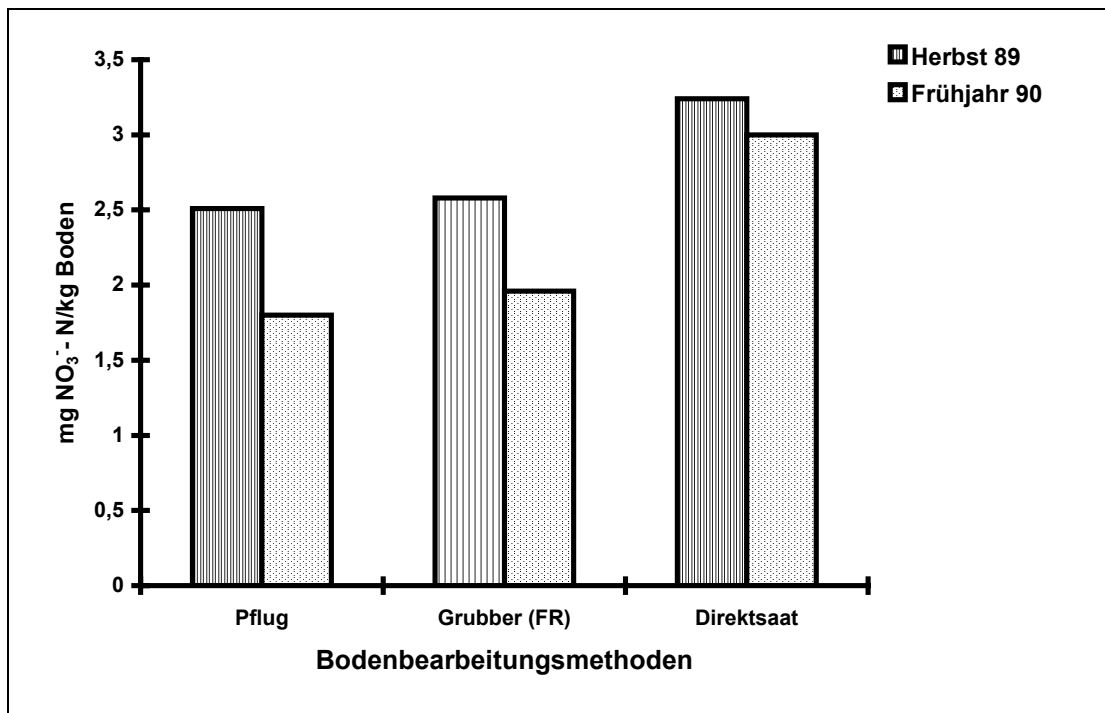


Abb. 8: Vergleich der Nitratgehalte (mg NO₃/kg Boden) im Oberboden (0-30 cm) zwischen Herbst (EUF-Analyse) und Frühjahr (Nmin-Analyse), Mittelwert von vier Wiederholungen
Standort: Bruchköbel; Fruchtart: Winterweizen
keine signifikanten Unterschiede zwischen den Nitratgehalten von Herbst '89 und Frühjahr '90

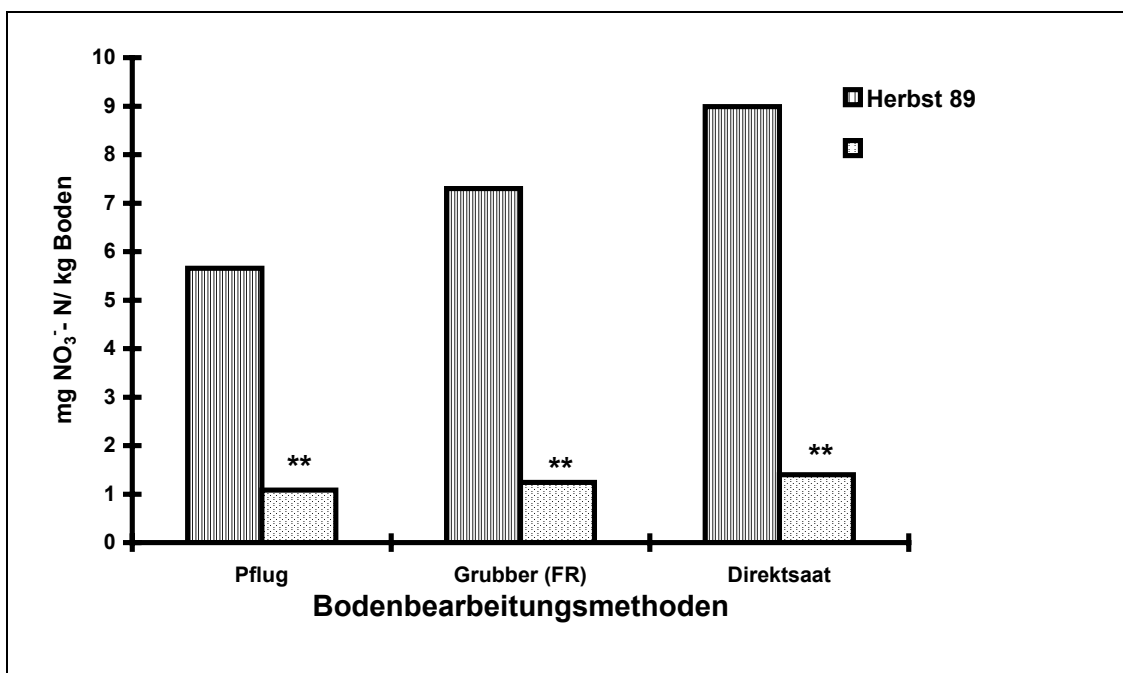


Abb. 9: Vergleich der Ammoniumgehalte (mg NH₄⁺-N/kg Boden) im Oberboden (0-30 cm) zwischen Herbst (EUF-Analyse) und Frühjahr (Nmin-Analyse), Mittelwert von vier Wiederholungen
Standort: Bruchköbel; Fruchtart: Winterweizen
Unterschiede zwischen den Ammoniumgehalten von Herbst '89 und Frühjahr '90
** signifikant

3.1.2. Versuchsjahr 1990/91

3.1.2.1. Standort Gießen

3.1.2.1.1. EUF-Analysen im Herbst 1990 (0-30 cm Tiefe)

Bei den EUF-Untersuchungen im Oberboden des Standorts Gießen (Tab. 17) enthielt die Pflugvariante signifikant höhere Nitratstickstoffgehalte als die FR- und die Direktsaatvariante. Auch die Ammoniumstickstoffkonzentration war im gepflügten Boden am höchsten, wobei die Unterschiede zwischen den Bodenbearbeitungsvarianten nicht signifikant waren. In der FR-Variante wurde ein signifikant höherer Gehalt an gesamtem mineralischen Stickstoff als unter Direktsaat und ein signifikant niedrigerer als bei Pflugbearbeitung ermittelt. Die Konzentration des EUF-Norg war bei Pflugbearbeitung signifikant höher als bei Direktsaat und bei FR-Bearbeitung.

Tab. 17: Unterschiedliche N-Fractionen bei differenzierter Bodenbearbeitung (in mg N/kg Boden)

Standort: Gießen (Senzwischenfrucht)

Probennahmetermin: Herbst 1990 (EUF-Untersuchung)

| | NO₃⁻-N (0-30 cm) GD(5%) = 0,36 | NH₄⁺-N (0-30 cm) GD(5%) = 0,26 | Norg-N (0-30 cm) GD(5%) = 0,23 |
|-----------------------|---|---|---|
| Pflug (P) | 3,76 | 1,64 | 6,23 |
| Grubber (FR) | 3,28 | 1,44 | 5,93 |
| Direktsaat (D) | 3,02 | 1,39 | 5,91 |

Vergleich der Bodenbearbeitungsmethoden:

NO₃--N: P > FR = D,
NH₄+--N: P = FR = D
EUF-Norg: P > FR = D

3.1.2.1.2. Nmin-Analysen im Frühjahr 1991 (0-30 und 30-60 cm Tiefe)

Zum Frühjahrstermin (Tab. 18) wurden signifikant höhere Nitratmengen in der Pflugvariante im Vergleich zu den anderen Bearbeitungsverfahren ermittelt. Die Konzentration des gesamten mineralischen Stickstoffs war bei Pflugbearbeitung signifikant erhöht.

Tab. 18: Unterschiedliche N-Fractionen bei differenzierter Bodenbearbeitung (in mg N/kg Boden)

Standort: Gießen

Probennahmetermin: Frühjahr 1991 (Nmin-Untersuchung)

| | NO₃⁻-N (0-30 cm) GD(5%) = 0,24 | NH₄⁺-N (0-30 cm) GD(5%) = 0,24 | NO₃⁻-N (0-30 cm) + (30-60 cm) GD(5%) = 0,29 |
|-----------------------|---|---|--|
| Pflug (P) | 5,93 | 0,61 | 9,57 |
| Grubber (FR) | 4,94 | 0,63 | 7,41 |
| Direktsaat (D) | 4,83 | 0,70 | 6,58 |

Vergleich der Bodenbearbeitungsmethoden:

NO₃--N: P > FR = D
NH₄+--N: P = FR = D
NO₃--N (0- 60 cm): P > FR > D

Zwischen Herbst 1990 und Frühjahr 1991 nahm die Nitratkonzentration im Oberboden aller Bearbeitungsvarianten nicht signifikant zu (Abb. 10). Der Ammoniumgehalt nahm ab (Abb. 11).

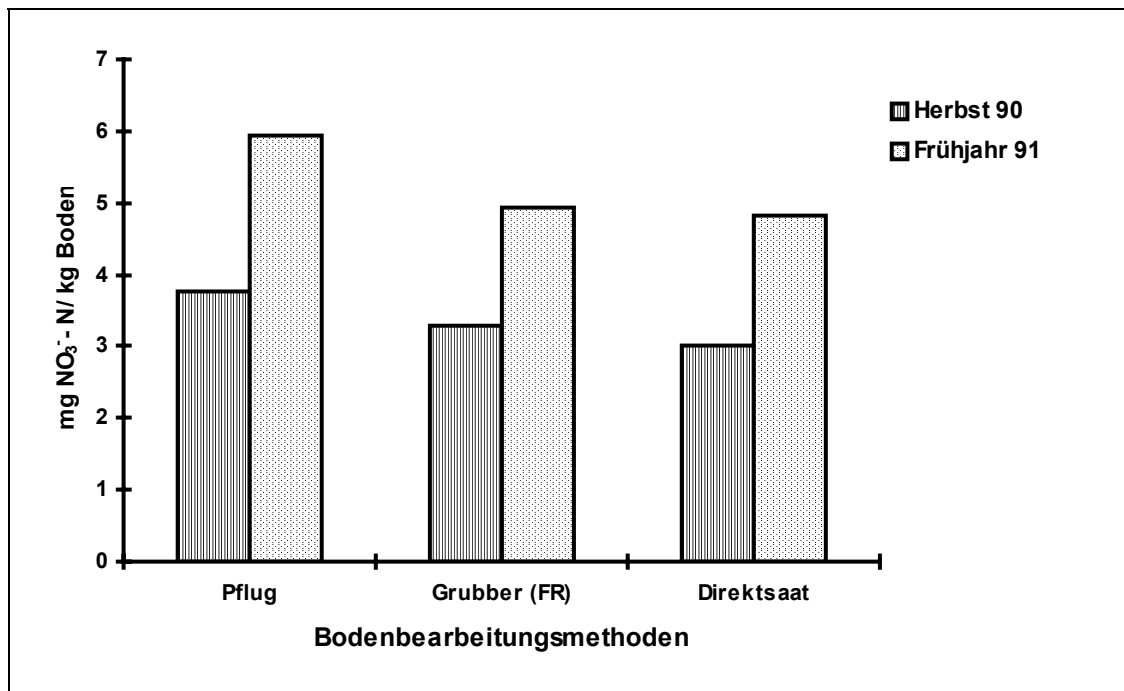


Abb. 10: Vergleich der Nitratgehalte (mg NO₃⁻/kg Boden) im Oberboden (0-30 cm) zwischen Herbst (EUF-Analyse) und Frühjahr (Nmin-Analyse), Mittelwert von vier Wiederholungen
Standort: Gießen; Fruchtart: Silomais (Zwischenfrucht: Senf)
keine signifikanten Unterschiede zwischen den Nitratgehalten von Herbst '90 und Frühjahr '91

Auch hier war der Unterschied zwischen Herbst und Frühjahr nicht signifikant (Abb. 11). Der Ammoniumgehalt war bei Direktsaat am höchsten und bei Pflugbearbeitung am niedrigsten; hier waren die Unterschiede nicht signifikant. Im Profil (0-60 cm) war die Nitratstickstoffkonzentration in der gepflügten Variante signifikant höher als in den ungepflügten. Sie war in der FR- im Vergleich zur Direktsaatvariante höher.

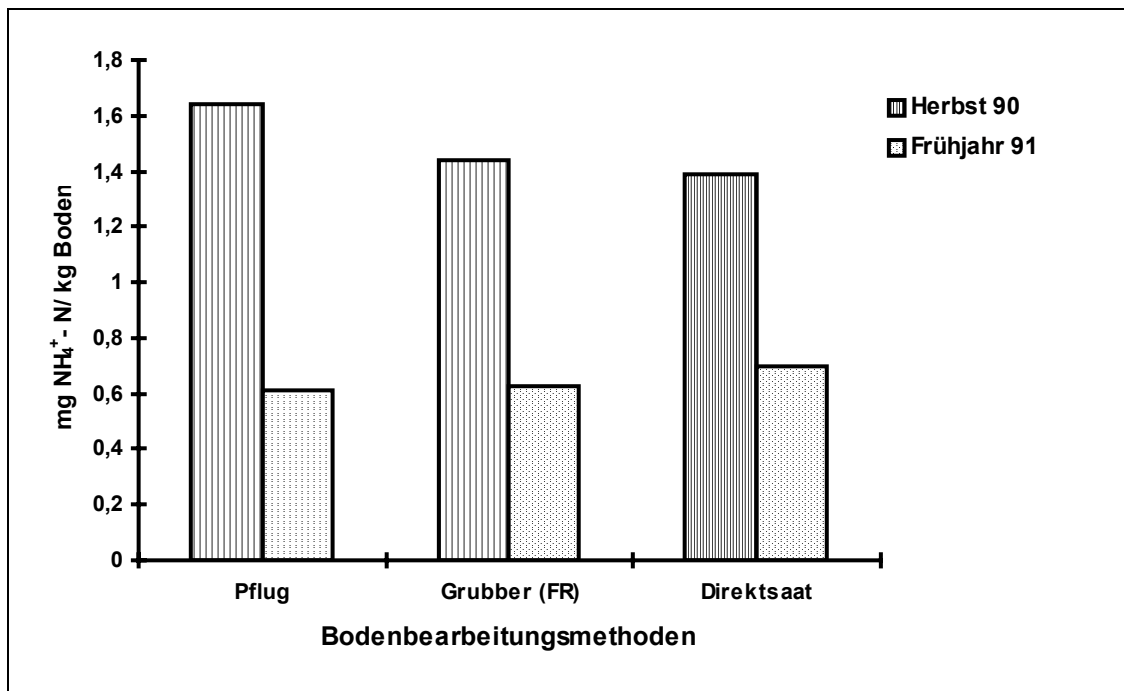


Abb. 11: Vergleich der Ammoniumgehalte (mg NH₄⁺-N/kg Boden) im Oberboden (0-30 cm) zwischen Herbst (EUF-Analyse) und Frühjahr (Nmin-Analyse), Mittelwert von vier Wiederholungen
Standort: Gießen; Fruchtart: Silomais (Zwischenfrucht: Senf)
keine signifikanten Unterschiede zwischen den Ammoniumgehalten von Herbst '90 und Frühjahr '91

3.1.2.2. Standort Wernborn

3.1.2.2.1. EUF-Analysen im Herbst 1990 (0-30 cm Tiefe)

Tab. 19: Unterschiedliche N-Fractionen bei differenzierter Bodenbearbeitung (in mg N/kg Boden)

Standort: Wernborn

Probennahmetermin: Herbst 1990 (EUF- Untersuchung)

| | NO ₃ ⁻ -N (0-30 cm) GD(5%) = 0,21 | NH ₄ ⁺ -N (0-30 cm) GD(5%) = 0,56 | Norg-N (0-30 cm) GD(5%) = 0,22 |
|-----------------------|--|--|-----------------------------------|
| Pflug (P) | 5,30 | 2,40 | 13,60 |
| Grubber (FR) | 3,40 | 3,00 | 13,80 |
| Direktsaat (D) | 4,40 | 2,80 | 13,60 |

Vergleich der Bodenbearbeitungsmethoden:

NO₃-- N: P > D > FR

NH₄+ N: FR > P = D, FR = D

EUF- Norg: P = FR = D

Die EUF-Untersuchungen auf dem Standort Wernborn (Tab. 19) zeigten in der Direktsaatvariante eine signifikant höhere Nitratkonzentration im Vergleich zur FR-Variante und eine signifikant niedrigere im Vergleich zur Pflugvariante. Die gleiche Tendenz bestand beim gesamten mineralischen Stickstoffgehalt. Die FR-Variante enthielt am meisten Ammoniumstickstoff und die Pflugvariante am wenigsten. Diesbezüglich war der Unterschied zwischen der FR- und der Pflugvariante signifikant. Die EUF-Norg-Konzentration war bei allen drei Bodenbearbeitungssystemen identisch.

3.1.2.2.2. Nmin-Analysen im Frühjahr 1991 (0-30 und 30-60 cm Tiefe)

Zum Frühjahrstermin (Tab. 20) war im Oberboden aller drei Bearbeitungsvarianten mehr Nitrat-, weniger Ammoniumstickstoff und eine identische Konzentration an mineralischem Stickstoff im Vergleich zum Herbst des Vorjahres vorhanden.

Tab. 20: Unterschiedliche N-Fractionen bei differenzierter Bodenbearbeitung
(in mg N/kg Boden)

Standort: Wernborn

Probennahmetermin: Frühjahr 1991 (Nmin- Untersuchung)

| | NO ₃ ⁻ -N (0-30 cm) GD(5%) = 0,22 | NH ₄ ⁺ -N (0-30 cm) GD(5%) = 0,13 | NO ₃ ⁻ -N (0-30 cm) +(30-60 cm) GD(5%) = 0,22 |
|-----------------------|--|--|---|
| Pflug (P) | 6,80 | 0,90 | 12,76 |
| Grubber (FR) | 5,90 | 0,80 | 11,09 |
| Direktsaat (D) | 5,70 | 0,80 | 10,76 |

Vergleich der Bodenbearbeitungsmethoden:

NO₃--N: P > FR = D

NH₄+--N: P = FR = D

NO₃--N (0- 60 cm): P > FR > D

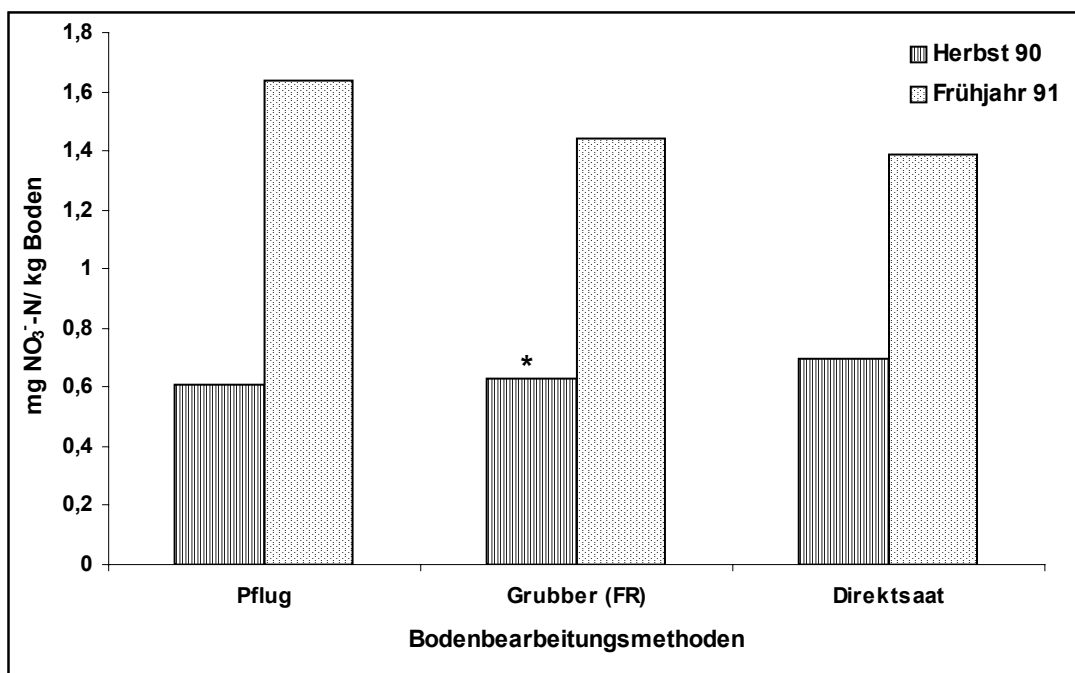


Abb. 12: Vergleich der Nitratgehalte (mg NO₃⁻/kg Boden) im Oberboden (0-30 cm) zwischen Herbst (EUF-Analyse) und Frühjahr (Nmin-Analyse), Mittelwert von vier Wiederholungen

Standort: Wernborn; Fruchtart: Winterweizen

Unterschiede zwischen den Nitratgehalten von Herbst '90 und Frühjahr '91

* schwach signifikant

Die Pflugvariante enthielt die signifikant höchste Konzentration an Nitrat- und an gesamtem mineralischem Stickstoff.

In der FR-Variante wurde eine schwach signifikante Zunahme des Nitratgehaltes im Oberboden zwischen Herbst und Frühjahr festgestellt. Die Nitratkonzentration erhöhte sich bei Pflugbearbeitung und Direktsaat nicht signifikant (Abb. 12. Im o. g. Zeitraum nahm die

Ammoniumkonzentration im Oberboden aller drei Bearbeitungsvarianten signifikant ab (Abb. 13). Die Ammoniumkonzentration war in den drei Bodenbearbeitungssystemen identisch. Im Profil (0-60 cm Tiefe) war bei Pflugbearbeitung die signifikant höchste und bei Direktsaat die signifikant niedrigste Nitratkonzentration vorhanden.

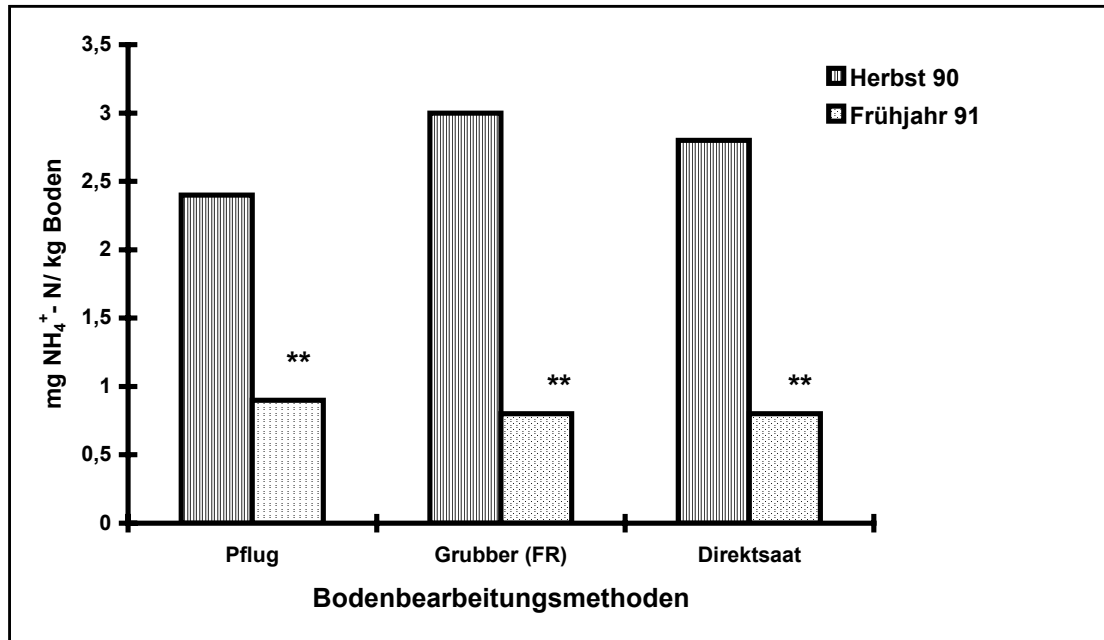


Abb. 13: Vergleich der Ammoniumgehalte (mg NH₄⁺-N/kg Boden) im Oberboden (0-30 cm) zwischen Herbst (EUF-Analyse) und Frühjahr (Nmin-Analyse), Mittelwert von vier Wiederholungen
Standort: Wernborn; Fruchtart: Winterweizen
Unterschiede zwischen den Ammoniumgehalten von Herbst '90 und Frühjahr '91
** signifikant

3.1.2.3. Standort Bruchköbel

3.1.2.3.1. EUF-Analysen im Herbst 1990 (0-30 cm Tiefe)

Anhand der EUF-Untersuchung (Tab. 21) wurde unter Direktsaat eine im Vergleich zur FR-Variante signifikant höhere Nitratstickstoffkonzentration festgestellt. In der Pflugvariante lagen identische Ammoniummengen wie in der Direktsaat- und signifikant höhere als in der FR-Variante vor.

Der Gehalt des gesamten mineralischen Stickstoffs war unter Pflugbearbeitung sowie Direktsaat identisch und signifikant höher als unter FR-Bearbeitung. Dieselbe Tendenz galt für die Konzentration des EUF-Norg.

**Tab. 21: Unterschiedliche N-Fractionen bei differenzierter Bodenbearbeitung
(in mg N/kg Boden)**

Standort: Bruchköbel (Senfzwischenfrucht)

Probennahmetermin: Herbst 1990 (EUF-Untersuchung)

| | NO₃⁻-N (0-30 cm) GD(5%) = 0,25 | NH₄⁺-N (0-30 cm) GD(5%) = 0,21 | Norg-N (0-30 cm) GD(5%) = 0,22 |
|-----------------------|---|---|---|
| Pflug (P) | 1,67 | 1,39 | 3,76 |
| Grubber (FR) | 1,51 | 1,12 | 2,99 |
| Direktsaat (D) | 1,85 | 1,32 | 3,70 |

Vergleich der Bodenbearbeitungsmethoden:

NO₃--N: D > FR, D = P; P = FR

NH₄+--N: P > FR = D, P = D

EUF-Norg: P = D > FR

3.1.2.3.2. Nmin-Analysen im Frühjahr 1991 (0-30 cm und 30-60 cm Tiefe)

Mit Ausnahme der Nitratgehalte im Profil (0-60 cm Tiefe) gab es keine signifikanten Unterschiede zwischen den Konzentrationen anderer Stickstofffraktionen in den drei Bodenbearbeitungsvarianten (Tab. 22).

Tab. 22: Unterschiedliche N-Fractionen bei differenzierter Bodenbearbeitung (in mg N/kg Boden)

Standort: Bruchköbel

Probennahmetermin: Frühjahr 1991 (Nmin-Untersuchung)

| | NO₃⁻-N (0-30 cm) GD(5%) = 0,25 | NH₄⁺-N (0-30 cm) GD(5%) = 0,26 | NO₃⁻-N (0-30 cm) + (30-60 cm) GD 5% = 0,21 |
|-----------------------|---|---|---|
| Pflug (P) | 2,58 | 1,02 | 4,50 |
| Grubber (FR) | 2,43 | 1,08 | 4,11 |
| Direktsaat (D) | 2,67 | 0,93 | 5,26 |

Vergleich der Bodenbearbeitungsmethoden:

NO₃-- N: P= FR= D

NH₄+-- N: P= FR= D

NO₃-- N (0- 60 cm): D> P> FR

Die Nitratkonzentration im Profil der Direktsaatvariante war die signifikant höchste und die der FR-Variante die signifikant niedrigste. Im Oberboden aller drei Bodenbearbeitungsvarianten nahm die Nitratkonzentration zwischen Herbst 1990 und Frühjahr 1991 nicht signifikant zu (Abb. 14). Hingegen wurde eine nicht signifikante Senkung des Ammoniumgehaltes bei allen Bodenbearbeitungsmethoden festgestellt (Abb. 15).

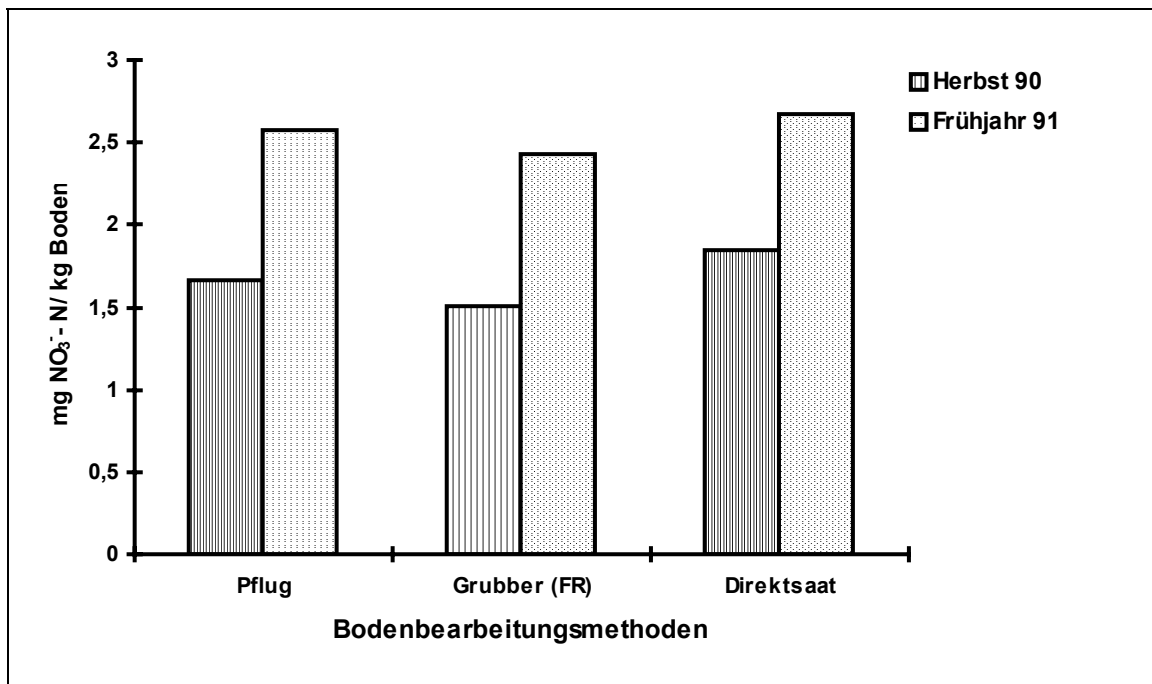


Abb. 14: Vergleich der Nitratgehalte (mg NO₃-N/kg Boden) im Oberboden (0-30 cm) zwischen Herbst (EUF-Analyse) und Frühjahr (Nmin-Analyse), Mittelwert von vier Wiederholungen
Standort: Bruchköbel; Fruchtart: Körnermais (Zwischenfrucht: Senf)
keine signifikanten Unterschiede zwischen den Nitratgehalten von Herbst '90 und Frühjahr '91

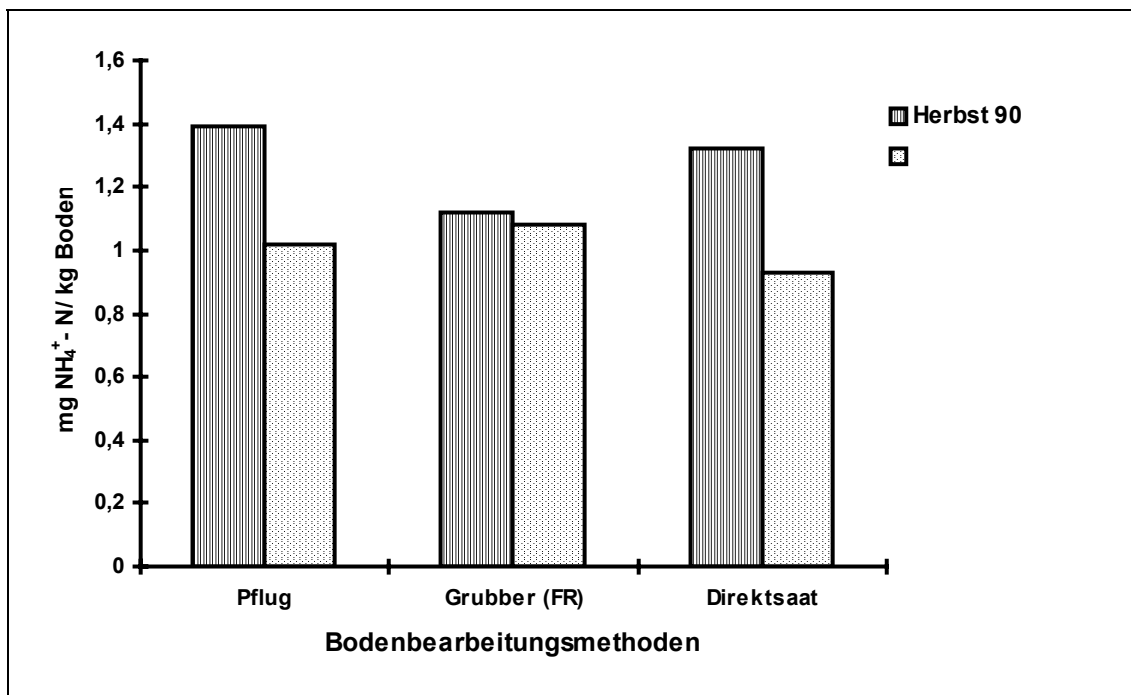


Abb. 15: Vergleich der Ammoniumgehalte (mg NH₄⁺-N/kg Boden) im Oberboden (0-30 cm) zwischen Herbst (EUF-Analyse) und Frühjahr (Nmin-Analyse), Mittelwert von vier Wiederholungen
Standort: Bruchköbel; Fruchtart: Körnermais (Zwischenfrucht: Senf)
keine signifikanten Unterschiede zwischen den Ammoniumgehalten von Herbst '89 und Frühjahr '90

3.1.3. Versuchsjahr 1991/92

3.1.3.1. Standort Gießen

3.1.3.1.1. EUF-Analysen im Herbst 1991 (0-30 cm Tiefe)

Auf dem Standort Gießen (Tab. 23) wurde unter Direktsaat anhand von EUF-Untersuchungen eine signifikant höhere Nitratstickstoffkonzentration im Vergleich zur FR- und zur Pflugvariante festgestellt. Statistisch gesehen enthielten alle drei Bearbeitungsvarianten identische Ammoniumkonzentrationen.

Tab. 23: Unterschiedliche N-Fractionen bei differenzierter Bodenbearbeitung (in mg N/kg Boden)

Standort: Gießen

Probennahmetermin: Herbst 1991 (EUF-Untersuchung)

| | NO₃⁻-N (0-30 cm) GD(5%) = 1,73 | NH₄⁺-N (0-30 cm) GD(5%) = 0,47 | Norg-N (0-30 cm) GD(5%) = 0,22 |
|-----------------------|---|---|---|
| Pflug (P) | 10,50 | 2,60 | 13,20 |
| Grubber (FR) | 12,20 | 2,50 | 12,00 |
| Direktsaat (D) | 17,10 | 2,20 | 12,30 |

Vergleich der Bodenbearbeitungsmethoden:

NO₃-- N: D> FR= P

NH₄+ N: P= FR= D

EUF- Norg: P> D> FR

Die signifikant höchste Konzentration an gesamtem mineralischen Stickstoff lag in der Direktsaatvariante vor. Der EUF-Norg-Gehalt war unter Direktsaat signifikant niedriger als bei Pflug- und signifikant höher als bei FR-Bearbeitung.

3.1.3.1.1. Nmin-Analysen im Frühjahr 1992 (0-30 cm und 30-60 cm Tiefe)

Bei den Nmin-Untersuchungen im Frühjahr (Tab. 24) wurden unter Direktsaat die signifikant höchsten Nitratwerte und in der FR-Variante die signifikant niedrigsten ermittelt.

Tab. 24: Unterschiedliche N-Fractionen bei differenzierter Bodenbearbeitung (in mg N/kg Boden)

Standort: Gießen

Probennahmetermin: Frühjahr 1992 (Nmin-Untersuchung)

| | NO₃⁻-N (0-30 cm) GD(5%) = 0,63 | NH₄⁺-N(0-30 cm) GD(5%) = 0,36 | NO₃⁻-N (0-30 cm) + (30-60 cm) GD(5%) = 4,34 |
|-----------------------|---|--|--|
| Pflug (P) | 7,48 | 2,20 | 23,48 |
| Grubber (FR) | 5,17 | 1,30 | 17,85 |
| Direktsaat (D) | 10,33 | 1,80 | 27,11 |

Vergleich der Bodenbearbeitungsmethoden:

NO₃-- N: D> P> FR

NH₄+ N: P> D> FR

NO₃-- N (0- 60 cm): D= P> FR

Im Gegensatz zur Pflugvariante sank zwischen Herbst und Frühjahr die Nitratkonzentration im Oberboden der Grubber- und der Direktsaatvariante signifikant ab (Abb. 16).

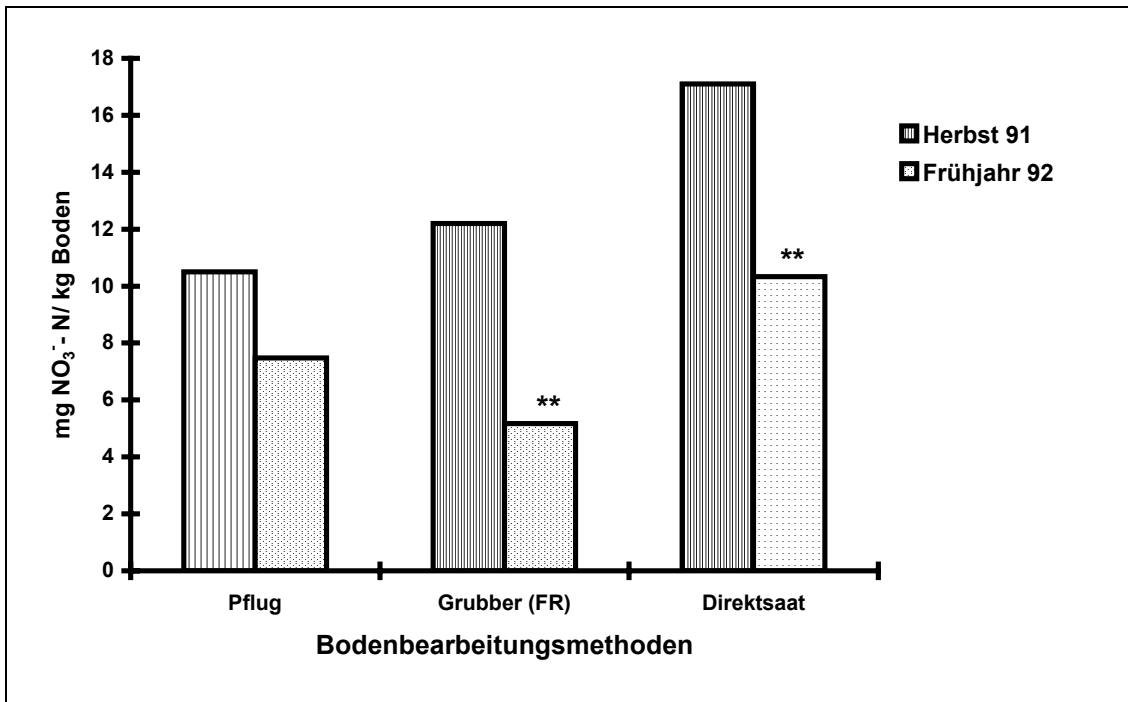


Abb. 16: Vergleich der Nitratgehalte (mg NO₃/kg Boden) im Oberboden (0-30 cm) zwischen Herbst (EUF-Analyse) und Frühjahr (Nmin-Analyse), Mittelwert von vier Wiederholungen
Standort: Gießen; Fruchtart: Winterweizen
Unterschiede zwischen den Nitratgehalten von Herbst '91 und Frühjahr '92
**** signifikant**

Die Abnahme der Ammoniumkonzentration war bei allen Bodenbearbeitungsvarianten nicht signifikant (Abb. 17).

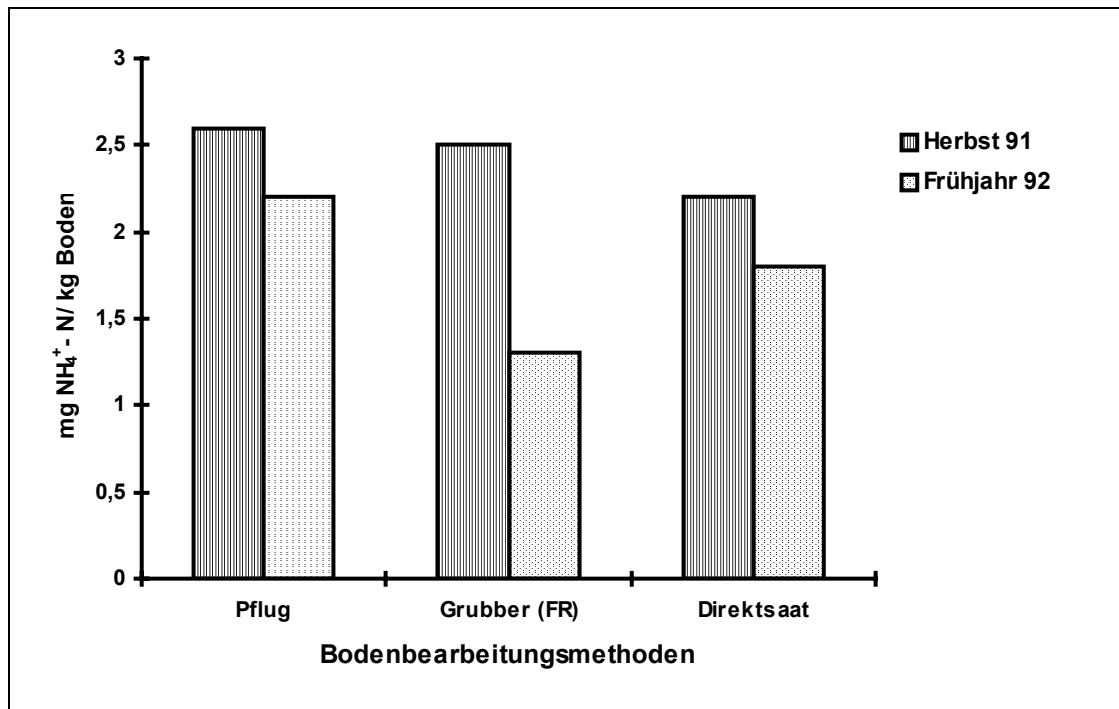


Abb. 17: Vergleich der Ammoniumgehalte (mg NH₄⁺-N/kg Boden) im Oberboden (0-30 cm) zwischen Herbst (EUF-Analyse) und Frühjahr (Nmin-Analyse), Mittelwert von vier Wiederholungen
Standort: Gießen; Fruchtart: Winterweizen
keine signifikanten Unterschiede zwischen den Ammoniumgehalten von Herbst '91 und Frühjahr '92

Der Ammoniumstickstoffgehalt war bei differenzierter Bodenbearbeitung signifikant unterschiedlich. Beim Vergleich der Nitratkonzentrationen im Profil (0-60 cm Tiefe) wurde ein signifikanter Unterschied zwischen der Pflug- sowie der Direktsaatvariante und der FR-Bearbeitung festgestellt.

3.1.3.2. Standort Hassenhausen

3.1.3.2.1. EUF-Analysen im Herbst 1991 (0-30 cm Tiefe)

Tab. 25: Unterschiedliche N-Fractionen bei differenzierter Bodenbearbeitung
(in mg N/kg Boden)

Standort: Hassenhausen

Probennahmetermin: Herbst 1991 (EUF-Untersuchung)

| | NO ₃ ⁻ -N (0-30 cm) GD(5%) = 1,31 | NH ₄ ⁺ -N (0-30 cm) GD(5%) = 0,25 | Norg-N (0-30 cm) GD(5%) = 0,18 |
|-----------------------|--|--|-----------------------------------|
| Pflug (P) | 3,20 | 2,10 | 12,10 |
| Grubber (FR) | 4,10 | 2,10 | 13,20 |
| Direktsaat (D) | 6,20 | 1,80 | 11,60 |

Vergleich der Bodenbearbeitungsmethoden:

NO₃-- N: D > FR = P

NH₄+ N: P = FR > D

EUF- Norg: FR > P > D

Die Direktsaatvariante enthielt bei den EUF-Untersuchungen (Tab. 25) eine signifikant höhere Nitratkonzentration als die Pflug- und die FR-Variante. Hingegen war die Ammoniumstickstoffkonzentration bei Direktsaat signifikant niedriger als bei Pflug- und bei FR-Bearbeitung.

Unter Direktsaat wurde die höchste und in der Pflugvariante die niedrigste Konzentration des gesamten mineralischen Stickstoffs gemessen, wobei der Unterschied signifikant war. Die EUF-Norg-Konzentration war in der Pflugvariante signifikant niedriger als in der FR-Variante und signifikant höher als unter Direktsaat.

3.1.3.2.2. Nmin-Analysen im Frühjahr 1992 (0-30 cm und 30-60 cm Tiefe)

Bei den Nmin-Untersuchungen im Frühjahr wurde eine signifikant höhere Nitratstickstoffkonzentration in der Direktsaat- im Vergleich zur Pflug- und zur FR-Variante ermittelt (Tab. 26). Die gleiche Tendenz galt für den Gehalt des gesamten mineralischen Stickstoffs.

Zwischen Herbst und Frühjahr wurde im Oberboden keine signifikante Änderung der Nitratkonzentration im Oberboden beobachtet. Eine leichte Zunahme unter Pflugbearbeitung und Direktsaat sowie eine leichte Senkung unter Grubberbearbeitung waren vorhanden (Abb. 18).

Tab. 26: Unterschiedliche N-Fractionen bei differenzierter Bodenbearbeitung (in mg N/kg Boden)

Standort: Hassenhausen

Probennahmetermin: Frühjahr 1992 (Nmin-Untersuchung)

| | NO_3^- -N (0-30 cm) | NH_4^+ -N (0-30 cm) | NO_3^- -N (0-30 cm) +(30-60 cm) |
|-----------------------|------------------------------|------------------------------|---|
| | GD(5%) = 1,31 | GD(5%) = 0,16 | GD(5%) = 0,25 |
| Pflug (P) | 3,63 | 1,80 | 7,85 |
| Grubber (FR) | 3,31 | 1,20 | 6,36 |
| Direktsaat (D) | 6,98 | 1,10 | 12,89 |

Vergleich der Bodenbearbeitungsmethoden:

NO_3^- - N: D > FR = P,

NH_4^+ - N: P > D = FR,

NO_3^- - N (0- 60 cm): D > P > FR



Abb. 18: Vergleich der Nitratgehalte (mg NO₃⁻/kg Boden) im Oberboden (0-30 cm) zwischen Herbst (EUF-Analyse) und Frühjahr (Nmin-Analyse), Mittelwert von vier Wiederholungen
Standort: Hassenhausen; Fruchtart: Winterweizen
keine Unterschiede zwischen den Nitratgehalten von Herbst '91 und Frühjahr '92

Der Ammoniumgehalt nahm in allen Bodenbearbeitungsvarianten nicht signifikant ab (Abb. 19).

Der Ammoniumstickstoffgehalt in der Pflugvariante war signifikant höher als in der FR- und der Direktsaatvariante. Im Profil (0-60 cm) war die Nitratkonzentration bei Pflugbearbeitung signifikant niedriger als bei Direktsaat und signifikant höher als bei FR-Bearbeitung.

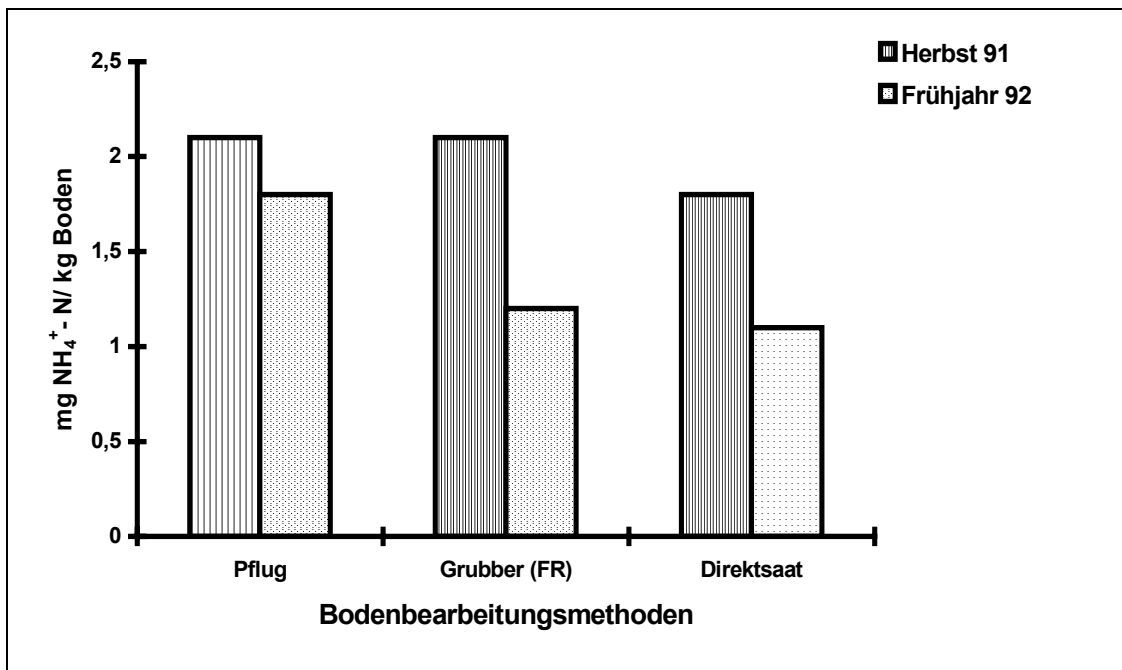


Abb. 19: Vergleich der Ammoniumgehalte (mg NH₄⁺-N/kg Boden) im Oberboden (0-30 cm) zwischen Herbst (EUF-Analyse) und Frühjahr (Nmin-Analyse), Mittelwert von vier Wiederholungen
Standort: Hassenhausen Fruchtart: Winterweizen
keine signifikanten Unterschiede zwischen den Ammoniumgehalten von Herbst '91 und Frühjahr '92

3.1.3.3. Standort Ossenheim

3.1.3.3. 1. EUF-Analysen im Herbst 1991 (0-30 cm Tiefe)

Tab. 27: Unterschiedliche N-Fractionen bei differenzierter Bodenbearbeitung
(in mg N/kg Boden)

Standort: Ossenheim

Probenahmetermin: Herbst 1991 (EUF- Untersuchung)

| | NO ₃ ⁻ -N (0-30 cm) GD(5%) = 1,51 | NH ₄ ⁺ -N (0-30 cm) GD(5%) = 0,42 | Norg-N (0-30 cm) GD(5%) = 2,74 |
|-----------------------|--|--|-----------------------------------|
| Pflug (P) | 11,30 | 2,20 | 12,90 |
| Grubber (FR) | 4,00 | 2,20 | 12,70 |
| Direktsaat (D) | 9,10 | 2,00 | 11,70 |

Vergleich der Bodenbearbeitungsmethoden:

NO₃-- N: P> D> FR,
NH₄+ N: P= FR= D
EUF- Norg: P= FR= D

Die signifikant höchsten Konzentrationen an Nitratstickstoff und an mineralischem Stickstoff gesamt lagen in der Pflugvariante und die signifikant niedrigsten in der FR-Variante vor (Tab. 27). Es bestand hinsichtlich des Ammoniumstickstoffs und des EUF-Norg kein signifikanter Unterschied zwischen den Bodenbearbeitungssystemen.

3.1.3.3.2. Nmin-Analysen im Frühjahr 1992 (0-30 cm und 30-60 cm Tiefe)

Im Frühjahr enthielt der Oberboden der Pflugvariante die höchsten Nitratstickstoff-, Ammoniumstickstoff- und mineralischen Stickstoffkonzentrationen und die FR-Variante die niedrigsten (Tab. 28). In der letztgenannten Variante lagen signifikant niedrigere Nitratgehalte vor als in der Direktsaat- und der Pflugvariante.

Tab. 28: Unterschiedliche N-Fractionen bei differenzierter Bodenbearbeitung (in mg N/kg Boden)

Standort: Ossenheim

Probenahmetermin: Frühjahr 1992 (Nmin-Untersuchung)

| | NO ₃ ⁻ -N (0-30 cm) GD(5%) = 0,37 | NH ₄ ⁺ -N (0-30 cm) GD(5%) = 0,30 | NO ₃ ⁻ -N (0-30 cm) +(30-60 cm) GD(5%) = 2,68 |
|-----------------------|--|--|---|
| Pflug (P) | 5,22 | 1,10 | 15,47 |
| Grubber (FR) | 4,01 | 0,80 | 7,64 |
| Direktsaat (D) | 5,08 | 0,90 | 11,29 |

Vergleich der Bodenbearbeitungsmethoden:

NO₃-- N: P= D> FR,

NH₄+ N: P= D= FR

NO₃-- N (0- 60 cm): P> D> FR

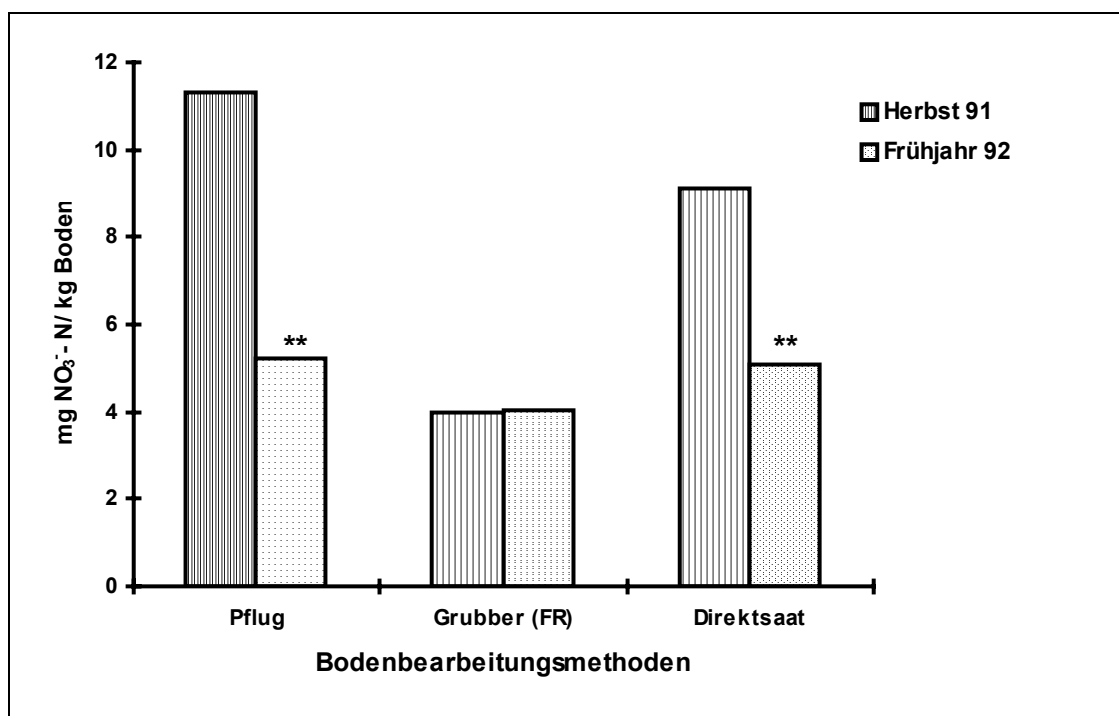


Abb. 20: Vergleich der Nitratgehalte (mg NO₃⁻/kg Boden) im Oberboden (0-30 cm) zwischen Herbst (EUF-Analyse) und Frühjahr (Nmin-Analyse), Mittelwert von vier Wiederholungen

Standort: Ossenheim; Fruchtart: Winterweizen

Unterschiede zwischen den Nitratgehalten von Herbst '91 und Frühjahr '92

** signifikant

Zwischen Herbst 1991 und Frühjahr 1992 blieb die Nitratkonzentration in der Grubbervariante (FR) konstant und nahm in der Pflug- sowie der Direktsaatvariante signifikant ab (Abb. 20). Der Oberboden aller drei Bearbeitungsvarianten verlor im genannten Zeitraum nicht signifikant an Ammonium (Abb. 21).

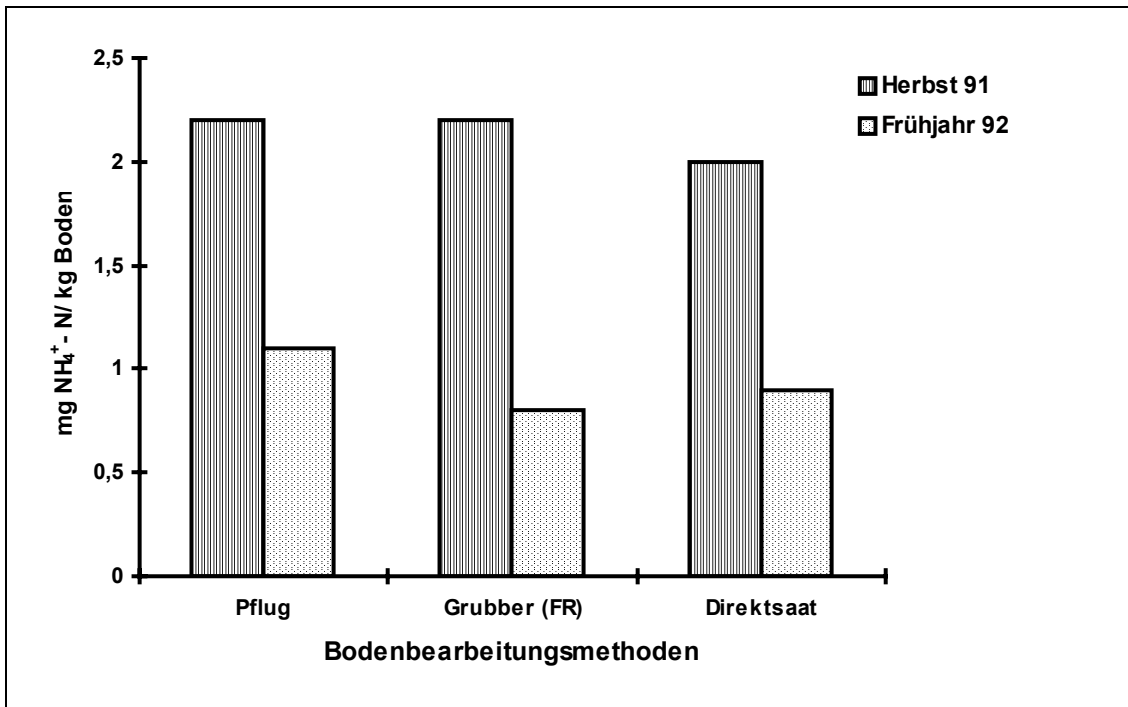


Abb. 21: Vergleich der Ammoniumgehalte (mg NH₄⁺-N/kg Boden) im Oberboden (0-30 cm) zwischen Herbst (EUF-Analyse) und Frühjahr (Nmin-Analyse), Mittelwert von vier Wiederholungen
Standort: Ossenheim; **Fruchtart:** Winterweizen
 keine signifikanten Unterschiede zwischen den Ammoniumgehalten von Herbst '91 und Frühjahr '92

Im Profil (0-60 cm Tiefe) war die Nitratkonzentration in der Direktsaatvariante signifikant höher als in der FR- und signifikant niedriger als in der Pflugvariante (Tab. 28).

3.2. Mineralisationsversuch

Dieser Versuch fand auf dem sandigen Standort Bruchköbel statt. Die zu fünf Terminen über die Vegetationsperiode verteilten EUF-, Nitrat- und Norg-Werte von unterschiedlichen Bodenbearbeitungsvarianten (Pflug-, Flügelschargrubber- und Direktsaatvariante) wurden miteinander verglichen. Darüber hinaus wurden die Oberkrume (0-15 cm) und die Unterkrume (15-30 cm) des jeweiligen Bodenbearbeitungssystems gegenübergestellt.

3.2.1. Verlauf der Nitratwerte

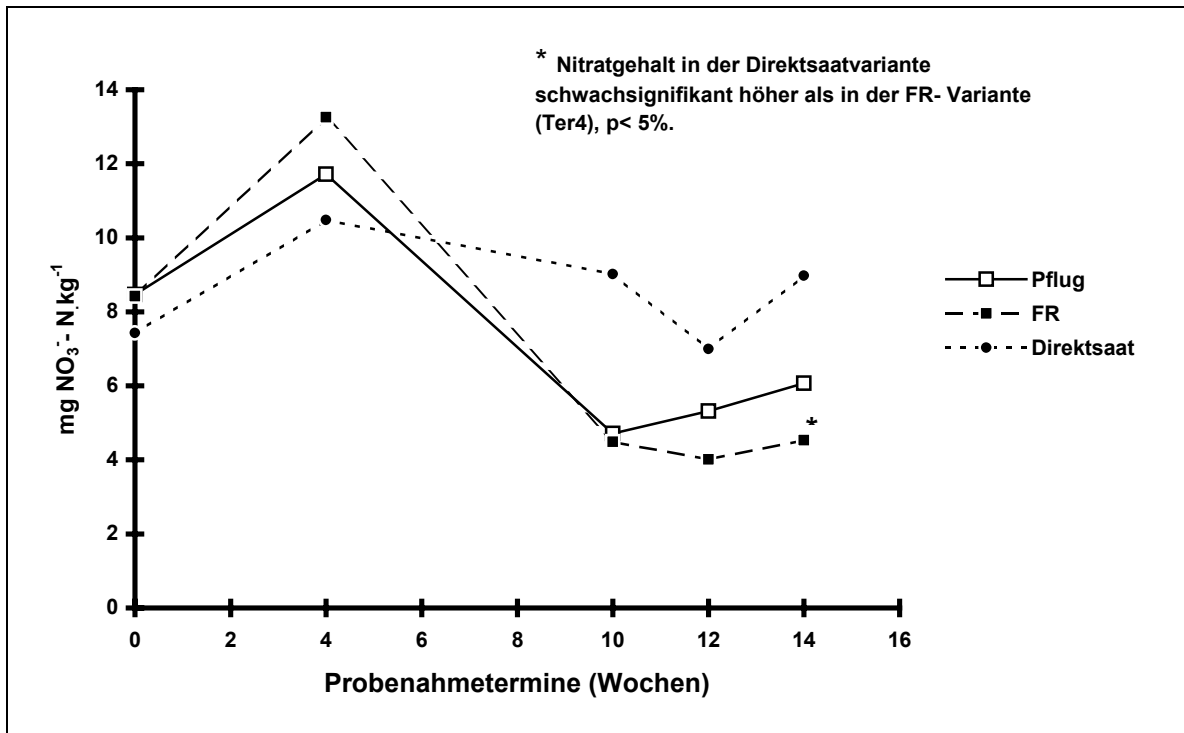


Abb. 22: Verlauf der Nitratgehalte in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung (in mg N/kg Boden),
Probennahmetiefe: 0-30 cm, Mittelwerte von je vier Wiederholungen
Standort: Bruchköbel Ter0-Ter4: Probennahmetermine Start (Ter0): 29.05.1991
Vergleich der Proben: GD(5%) = 3,70 Ter1 > Ter0 > Ter2 = Ter3 = Ter4
Vergleich der Bearbeitungsmethoden: GD(5%) = 3,16 P = FR = D

Die Nitratkonzentration (Abb.22) stieg in den drei Bodenbearbeitungsvarianten zunächst an. Die nachfolgende Konzentrationsabnahme war bei der Direktsaat geringer als bei der Pflug- und der FR-Variante. Die beiden letzteren enthielten am Ende der Vegetation weniger Nitrat als zu Anfang, während die Werte in der Direktsaat relativ konstant blieben. Es bestand lediglich zum dritten Beprobungstermin zwischen den Nitratgehalten der Direktsaat- und der FR-Variante ein signifikanter Unterschied.

Der Vergleich der Nitratkonzentrationen (Durchschnitt der drei Bodenbearbeitungsvarianten) in der Oberkrume (0-15 cm) mit der Unterkrume (15-30 cm) wurde in den Abbildungen 23 und 24 dargestellt.

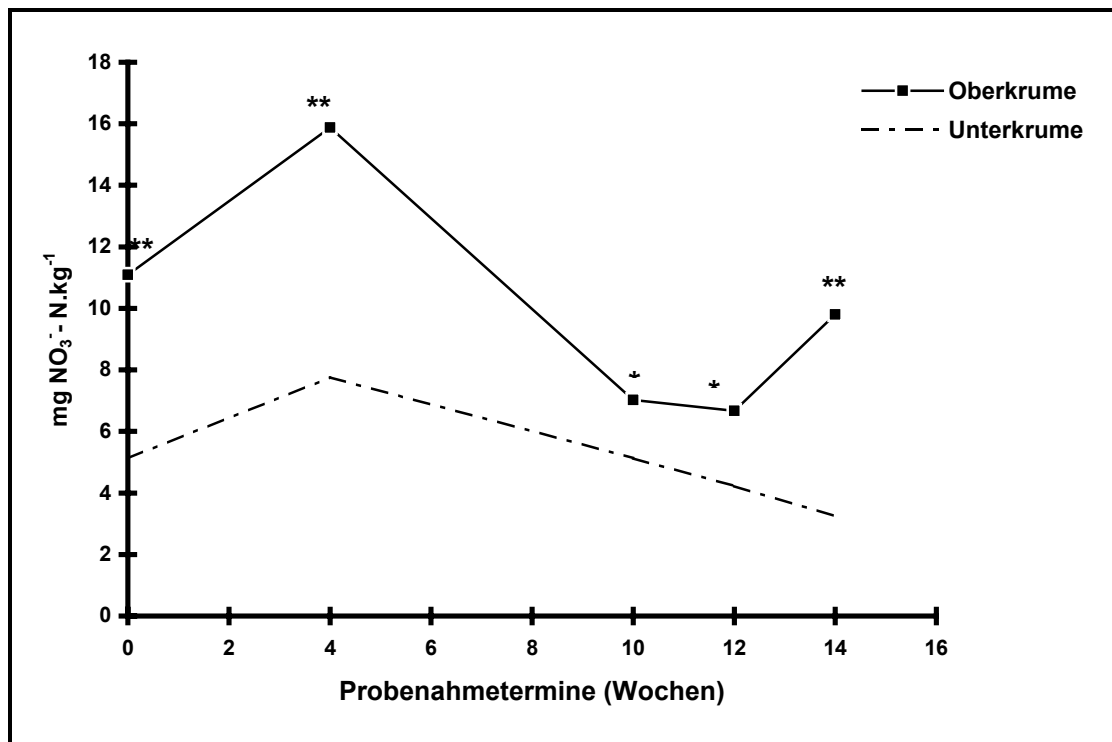


Abb. 23: Verlauf der Nitratgehalte (Durchschnitt aller Bearbeitungsmethoden) in der Ober- (0-15 cm) und Unterkrume (15-30 cm), Mittelwerte von je vier Wiederholungen

Standort: Bruchköbel Probennahmestart: 29.05.1991

Unterschiede zwischen Nitratgehalt in Ober- und Unterboden:

* schwach signifikant ** signifikant

Vergleicht man die Nitratgehalte in der Ober- und Unterkrume über die gesamte Vegetationsperiode (Durchschnitt über alle drei Bodenbearbeitungsverfahren), so stellt man je nach Termin einen signifikanten oder einen schwach signifikanten Unterschied fest (Abb. 23).

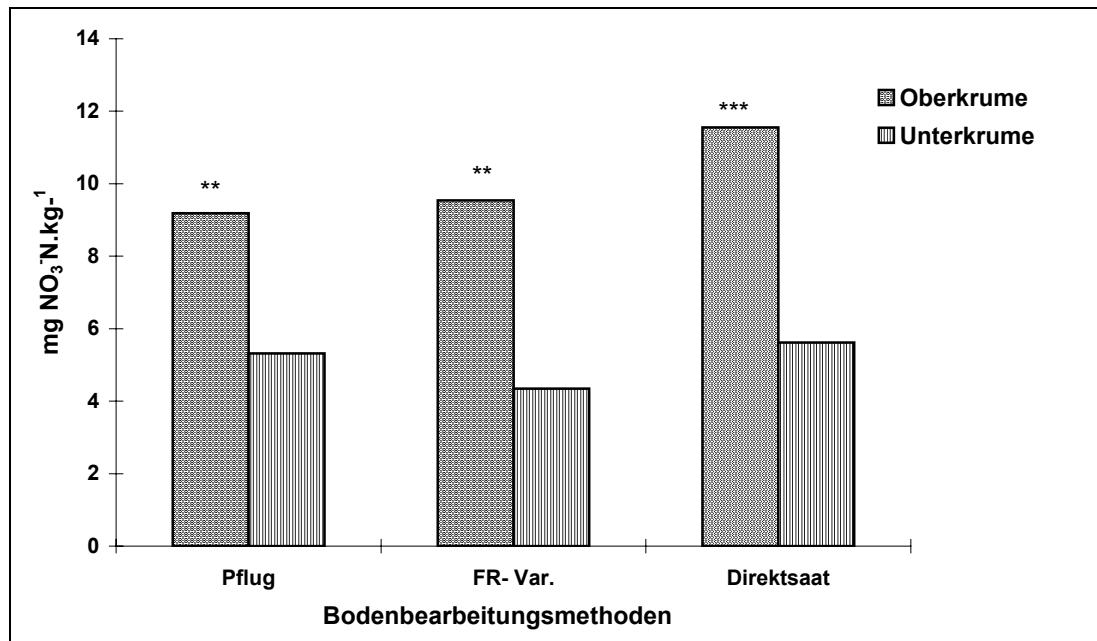


Abb. 24: Vergleich der Nitratgehalte (Durchschnitt aller Probenahmetermini) in der Ober- (0-15 cm) und Unterkrume (15-30 cm), Mittelwerte von je vier Wiederholungen

Standort: Bruchköbel

Unterschiede zwischen Nitratgehalt in Ober- und Unterkrume:

** signifikant *** hochsignifikant

In beiden Schichten stieg anfänglich die Nitratkonzentration an, um anschließend in der Unterkrume kontinuierlich abzunehmen. In der oberen Schicht ist ein Anstieg in der Endphase ersichtlich. Der Nitratgehalt in der Oberkrume war signifikant höher als in der Unterkrume. Ein Vergleich der oberen und der unteren Bodenschicht der einzelnen Bearbeitungsmethoden (Durchschnitt über alle Probennahmeterminen) ist der Abbildung 24 zu entnehmen. Die obere Schicht aller Bodenbearbeitungsvarianten enthielt mehr Nitrat als die untere. Dieser Unterschied war bei der Direktsaat hochsignifikant und bei der Pflug- und der FR-Variante signifikant. Weder der Vergleich der Oberkrume noch der der Unterkrume ließ signifikante Unterschiede zwischen den Bodenbearbeitungsverfahren erkennen.

3.2.2. Verlauf der Norg-Werte

Wie aus der Abbildung 25 ersichtlich ist, lagen die höchsten Werte in der Direktsaatvariante vor. Die Stoffkonzentration unterlag hier geringeren Schwankungen im Vergleich zur Pflug- und zur FR-Variante. Am Ende der Vegetation wurde eine niedrigere Norg-Menge in der Pflug- und eine gleiche in der FR-Variante im Vergleich zum Versuchsanfang gemessen. Eine Minderung des Norg-Gehalts zeigte sich in beiden Schichten (Abb. 26), wobei diese Tendenz in der Unterkrume stärker ausgeprägt war als in der Oberkrume. In der oberen Schicht waren signifikant höhere Norg-Konzentrationen zu verzeichnen als in der unteren Schicht.

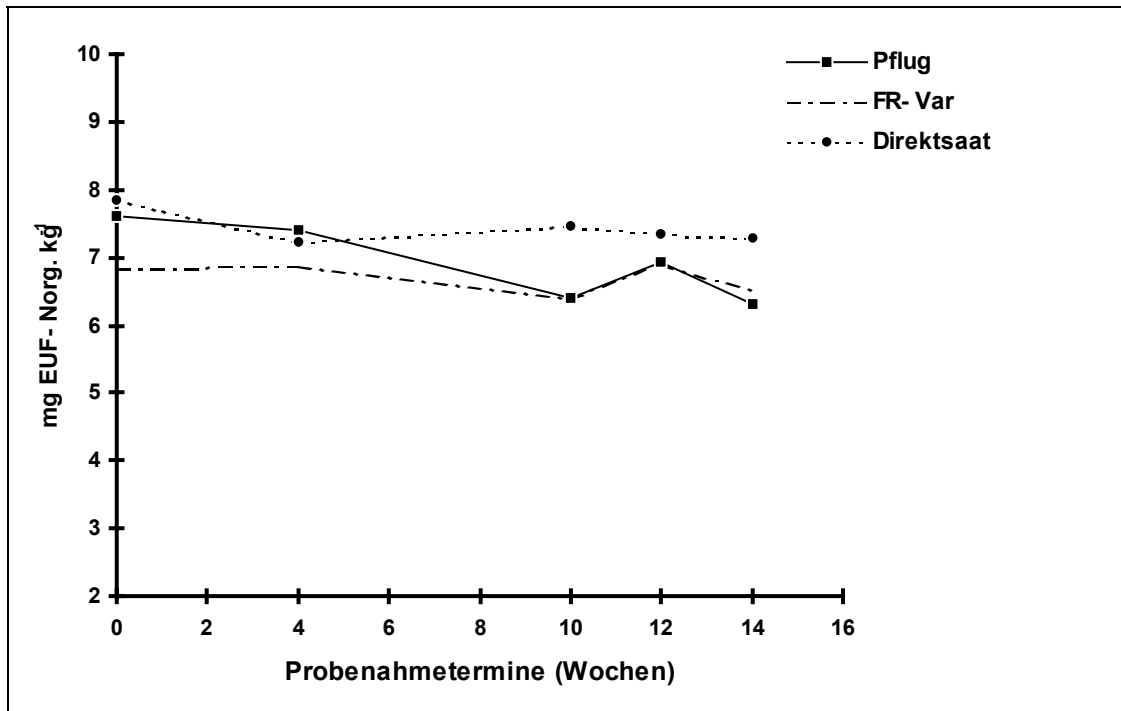


Abb. 25: Verlauf der EUF-Norg-Gehalte in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung Probennahmetiefe: 0-30 cm, Mittelwerte von je vier Wiederholungen

Standort: Bruchköbel Ter0-Ter4: Probennahmetermine Start (Ter0): 29.05.1991

Vergleich der Proben GD(5%) = 1,01 Ter0 > Ter4 = Ter1 = Ter2 = Ter3

Ter0 = Ter1 = Ter2 = Ter3

Vergleich der Bearbeitungsmethoden GD(5%) = 0,77 D > FR = P; D = P

Die Norg-Messungen (Abb.25) deuteten auf keine signifikante Gehaltsabnahme im Laufe des Versuchszeitraums hin. Dabei fiel auf, daß der Norg-Gehalt unter Direktsaat und in der FR-Variante konstanter war als in der Pflugvariante. Die letztere enthielt zum Vegetationsende am wenigsten und die Direktsaat am meisten organischen Stickstoff.

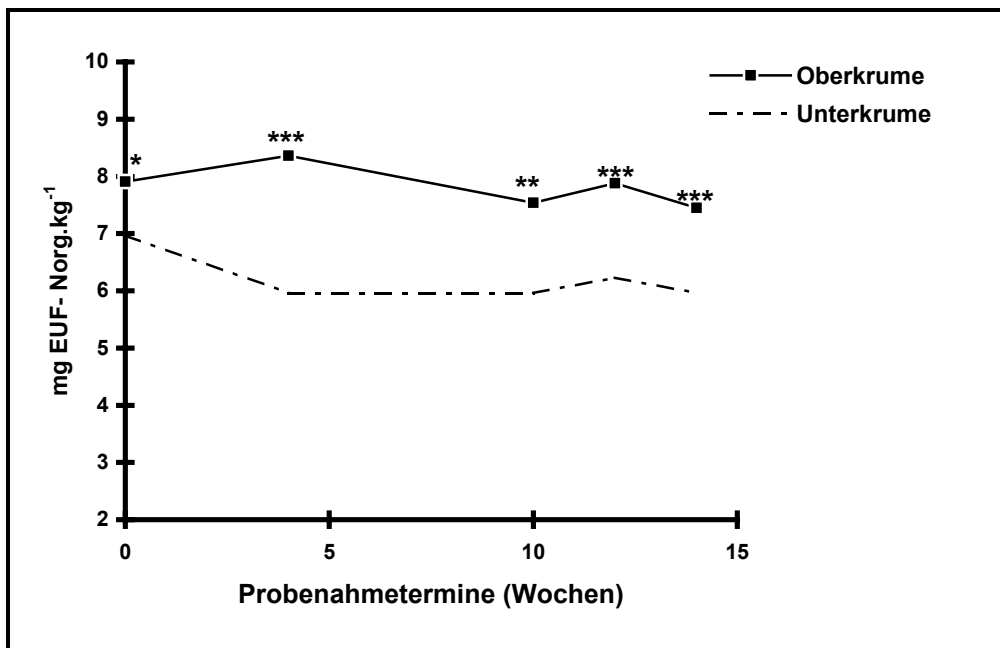


Abb. 26: Verlauf der EUF-Norg-Gehalte (Durchschnitt aller Bearbeitungsmethoden) in der Ober- (0-15 cm) und Unterkrume (15-30 cm), Mittelwerte von je vier Wiederholungen
Standort: Bruchköbel Ter0-Ter4: Probennahmeterminale Start (Ter0): 29.05.1991
Unterschiede zwischen EUF-Norg-Gehalt in Ober- und Unterkrume:
 * schwach signifikant ** signifikant ($p < 5\%$) *** hochsignifikant ($p < 0,1\%$)

Zwischen der Ober- und der Unterkrume der Direktsaat- und der FR-Variante (Abb. 27) bestand ein hochsignifikanter Unterschied im EUF-Norg-Gehalt.

Vergleicht man die EUF-Norg-Konzentrationen in der Oberkrume, so fällt in der Pflug- und der FR-Variante eine identische und signifikant niedrigere Konzentration als unter Direktsaat auf. In der Unterkrume hingegen enthielt die Pflugvariante signifikant mehr EUF-Norg als die Direktsaat- und die FR-Variante. Die ungepflügten Varianten (FR und Direktsaat) unterschieden sich nicht signifikant voneinander (Abb. 27).

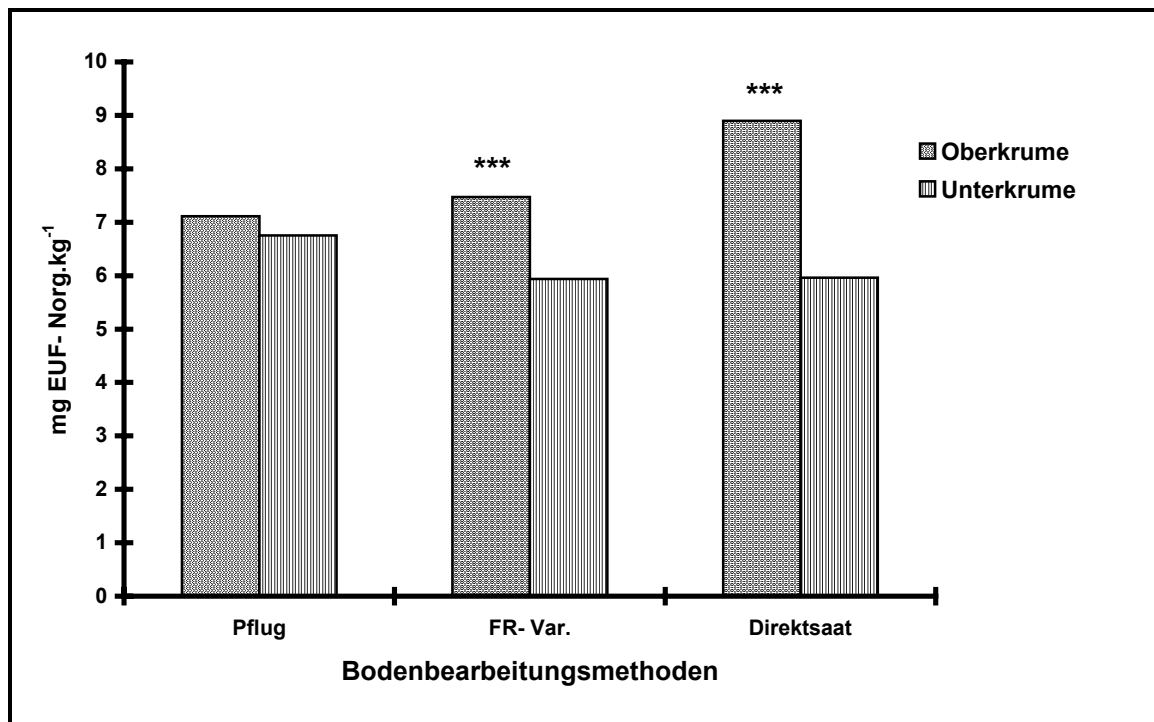


Abb. 27: Vergleich der EUF-Norg-Gehalte (Durchschnitt aller Probennahmeterminen) im Ober-(0-15 cm) und Unterkrume (15-30 cm), Mittelwerte von je vier Wiederholungen

Standort: Bruchköbel

Unterschiede zwischen EUF-Norg-Gehalt in der Ober- und Unterkrume:

*** hochsignifikant

3.3. Gehalt an fixiertem Ammonium

Auf drei Versuchsstandorten (Gießen, Hassenhausen und Wernborn) und bei zwei Bodenbearbeitungsvarianten (Pflug und Direktsaat) wurde der Gehalt an fixiertem Ammonium im Boden ermittelt. Die Untersuchungen betrafen zwei Probennahmetiefen (0 bis 30 cm und 30 bis 60 cm) und drei Beprobungstermine (Herbst 1989, Frühjahr 1990 und Sommer 1990).

3.3.1. Standort Gießen

Der Unterboden beider Bodenbearbeitungsvarianten enthielt hochsignifikant mehr fixiertes Ammonium als der Oberboden (Abb. 28). Weiterhin konnte unter Direktsaat in beiden Probennahmetiefen eine signifikant höhere Menge an fixiertem Ammonium nachgewiesen werden als bei Pflugbearbeitung (Abb. 29).

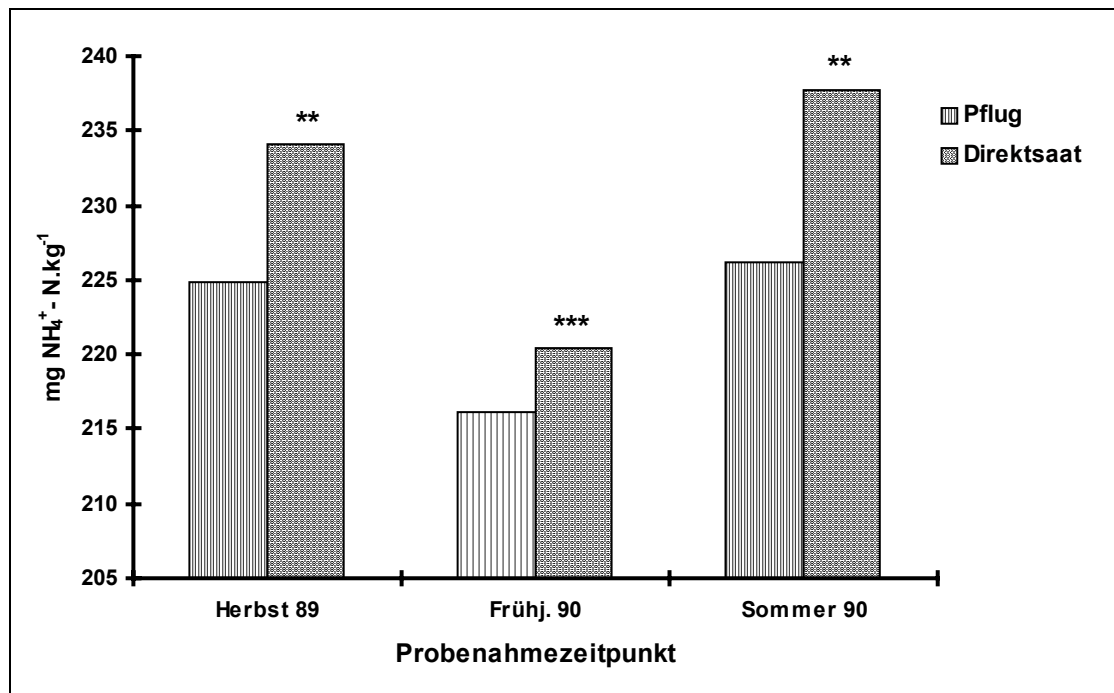


Abb. 28: Vergleich der Gehalte an fixiertem Ammonium bei Pflug und Direktsaat (in mg N/kg Boden)

Probennahmetiefe: 0-60 cm; Mittelwerte von je vier Wiederholungen

Standort: Gießen T1: Herbst 89 T2: Frühjahr 90 T3: Sommer 90

Unterschiede zwischen EUF-Norg-Gehalt in Ober- und Unterboden:

** signifikant ($p < 5\%$) *** hochsignifikant ($p < 0,1\%$)

Vergleich der Proben: GD(5%) = 13,62 T3 = T1 > T2

Pflug: GD(5%) = 19,00 T1 = T2 = T3 Direktsaat: GD(5%) = 19,69 T3 > T2 = T1, T3 = T1

Ein hochsignifikanter Unterschied bestand zwischen den Meßwerten der verschiedenen Probennahmetermine (Abb. 28). Im Frühjahr waren die Stoffgehalte niedriger als im Herbst. Eine Zunahme des Gehaltes an fixiertem Ammonium war im Sommer 1990 vorhanden. Der Unterschied zwischen der Pflug- und der Direktsaatvariante war im Herbst und im Sommer deutlicher als im Frühjahr (Abb. 29).



Abb. 29: Vergleich der Gehalte an fixiertem Ammonium im Ober- (0-30 cm) und Unterboden (30-60 cm), Durchschnitt aller Proben (Mittelwert von je zwölf Wiederholungen)

Standort: Gießen

Unterschiede zwischen Konzentration an fixiertem Ammonium in Ober- und Unterboden:

*** hochsignifikant ($p < 0,1\%$)

3.3.2. Standort Hassenhausen

Auf dem Standort Hassenhausen wurde eine signifikant höhere Konzentration an fixiertem Ammonium im Unterboden als im Oberboden gemessen (Abb. 30). Beide Bodenbearbeitungsvarianten unterschieden sich nicht voneinander (Abb. 31).

Die Konzentration des Zwischenschichtammoniums variierte signifikant von einem Termin zum anderen. Im Herbst 1989 und im Sommer 1990 lagen niedrigere Mengen vor als im Frühjahr 1990 (Abb. 30). Die Werte vom Herbst und Sommer waren gleich. Ebenso waren mit Ausnahme des Frühjahrstermins die Pflugvariante und die Direktsaat ebenbürtig.

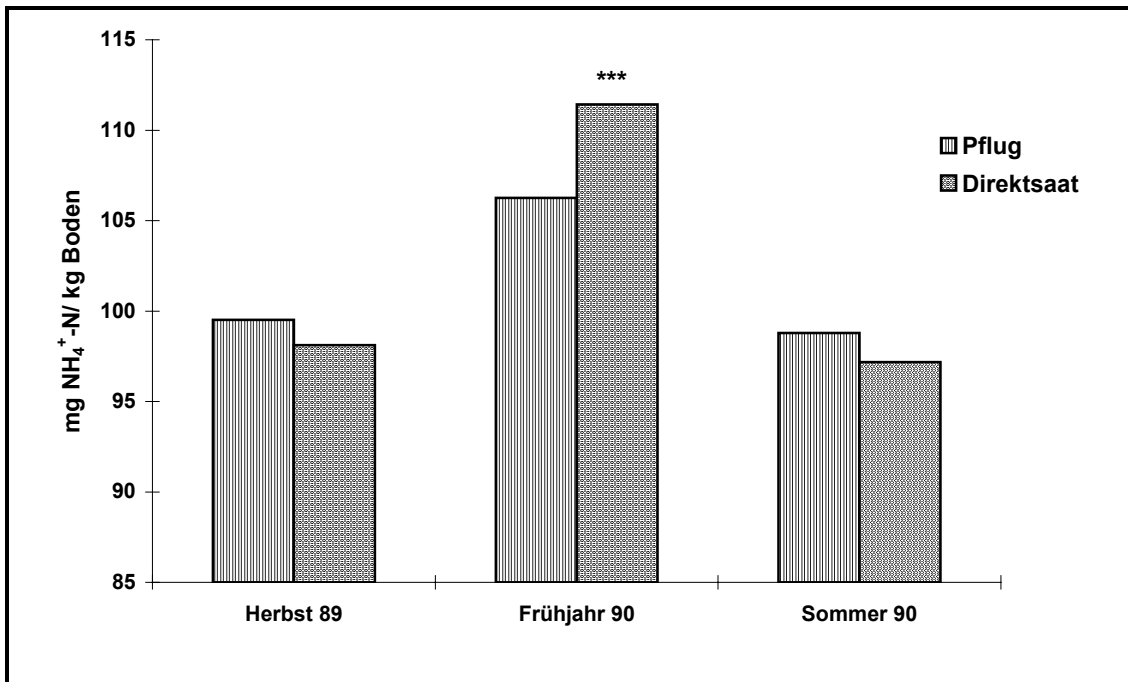


Abb. 30: Vergleich der Gehalte an fixiertem Ammonium bei Pflug und Direktsaat, Mittelwert von je vier Wiederholungen

Standort: Hassenhausen T1: Herbst 89 T2: Frühjahr 90 T3: Sommer 90

Unterschiede zwischen der Konzentration an fixiertem Ammonium in Ober- und Unterboden:

*** hochsignifikant ($p < 0,1\%$)

Vergleich der Proben: GD(5%) = 8,25 T2 > T1 = T3

Pflug: GD(5%) = 12,96 T1 = T2 = T3 Direktsaat: GD(5%) = 11,97 T2 > T1 = T3

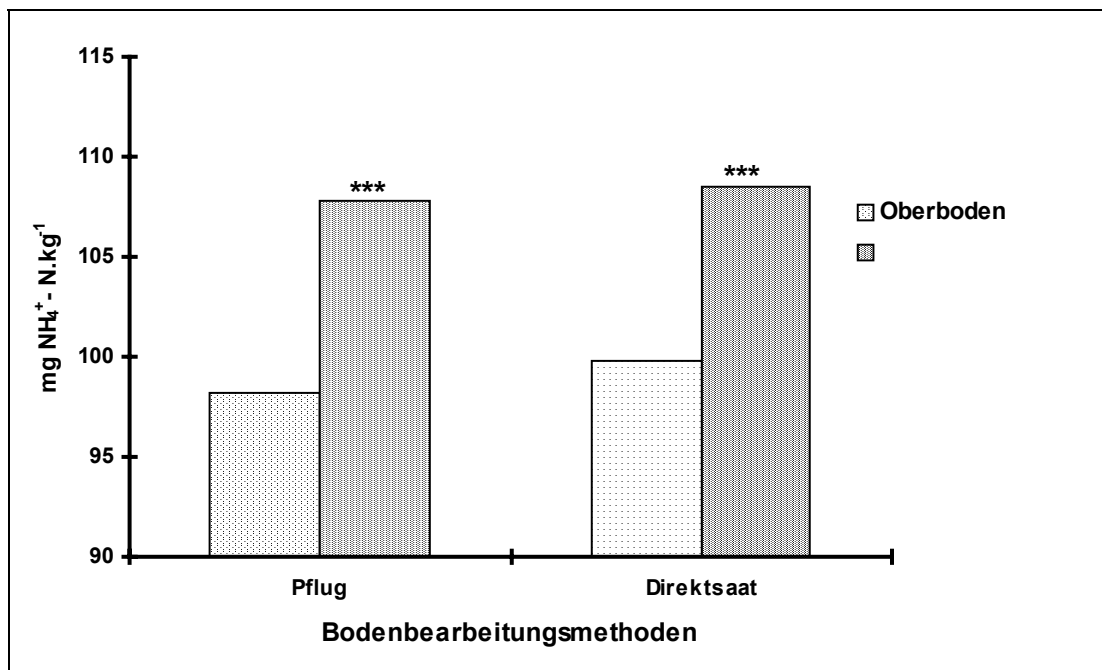


Abb. 31: Vergleich der Gehalte an fixiertem Ammonium in Ober- (0-30 cm) und Unterboden (30-60 cm), Durchschnitt von 3 Terminen (Mittelwert von je zwölf Wiederholungen)

Standort: Hassenhausen

Unterschiede zwischen Konzentration an fixiertem Ammonium in Ober- und Unterboden:

*** hochsignifikant ($p < 0,1\%$)

3.3.3. Standort Wernborn

In Wernborn (Abb. 33) enthielt der Unterboden einen signifikant höheren Gehalt an fixiertem Ammonium als der Oberboden. Bei Pflugbearbeitung war im Vergleich zur Direktsaat eine signifikant höhere Konzentration zu verzeichnen, und zwar sowohl im Unter- als auch im Oberboden (Abb. 33).

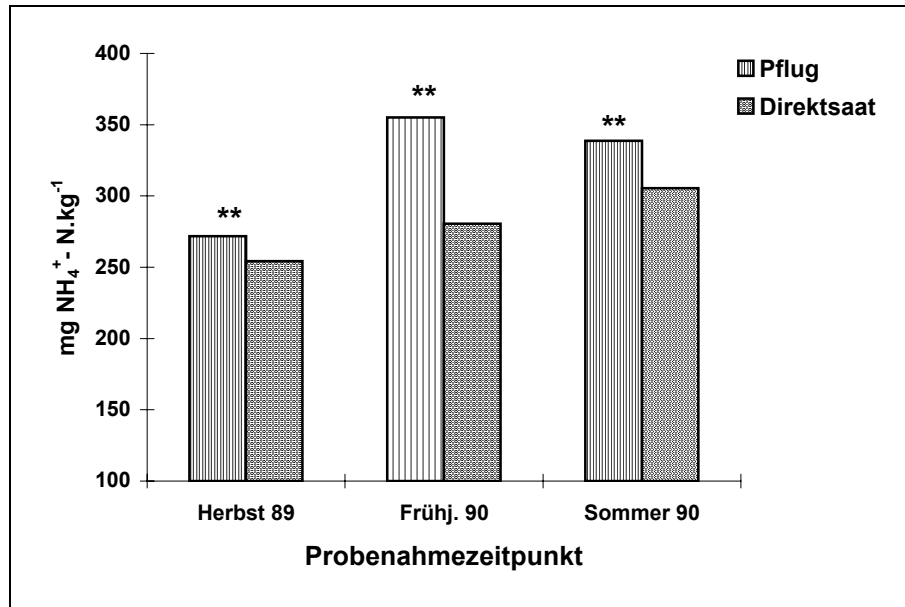


Abb. 32: Vergleich der Gehalte an fixiertem Ammonium bei Pflug und Direktsaat, Mittelwert von je vier Wiederholungen

Standort: Wernborn T1: Herbst 89 T2: Frühjahr 90 T3: Sommer 90

Unterschiede zwischen der Konzentration an fixiertem Ammonium in Ober- und Unterboden:

** signifikant ($p < 5\%$) *** hochsignifikant ($p < 0,1\%$)

Vergleich der Proben: GD(5%) = 25,55 T3 = T2 > T1

Pflug: GD(5%) = 131,17 T1 = T2 = T3 Direktsaat: GD(5%) = 64,04 T3 > T1 = T2, T3 = T2

Zwischen den Beprobungsterminen lag ein signifikanter Unterschied vor (Abb. 32). Bei der Pflugvariante war im Herbst weniger fixiertes Ammonium vorhanden als im Frühjahr und im Sommer. Die höchste Konzentration wurde im Frühjahr festgestellt. Bei der Direktsaat hingegen war eine kontinuierliche Zunahme zu beobachten, wobei im Sommer schwach signifikant höhere Stoffgehalte vorlagen als im Herbst. Zu allen Terminen enthielt die Pflugvariante mehr fixiertes Ammonium als die Direktsaat.

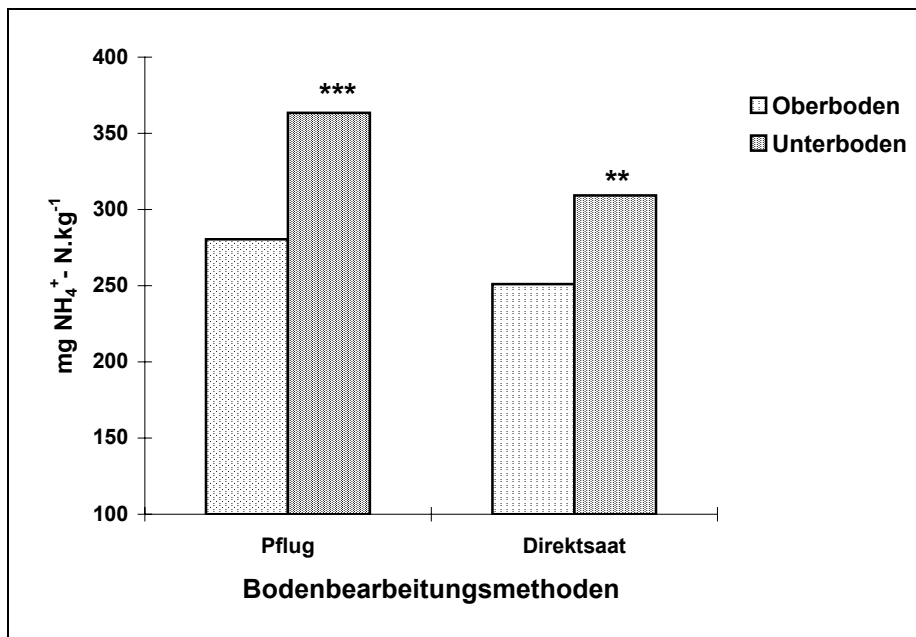


Abb. 33: Vergleich der Gehalte an fixiertem Ammonium in Ober- (0-30 cm) und Unterboden (30-60 cm), Durchschnitt von 3 Terminen (Mittelwert von je zwölf Wiederholungen)

Standort: Wernborn

Unterschiede zwischen Konzentration an fixiertem Ammonium in Ober- und Unterboden:
 ** signifikant ($p < 5\%$) *** hochsignifikant ($p < 0,1\%$)

3.4. Pflanzenerträge und Proteingehalte

Der Vergleich der Pflanzenerträge (Korn und Stroh) und Proteingehalte (im Korn und im Stroh) hatte zum Zweck, die durch Bodenbearbeitung bedingten Qualitätsänderungen auf den verschiedenen Standorten zu untersuchen. Im folgenden Kapitel werden sowohl die Düngeempfehlungskonzepte der Nmin- und der EUF-Methode als auch die einzelnen Bodenbearbeitungsverfahren näher betrachtet. Ferner werden die Pflug-, die FR- und die Direktsaatvariante paarweise in der Kontrollvariante (N0 = ohne N-Düngung) verglichen.

Die agronomische (landwirtschaftliche) Effizienz der Stickstoffdüngung wurde nach Craswell und Godwin (1984) gerechnet. Sie stellt den Ertragszuwachs dar, der der Wirkung eines (1) kg Düngerstickstoff entspricht. Zwecks der Berechnung wurde die Formel

$$E_f = \frac{E_x - E_o}{G}$$

verwendet.

(E_f = Effizienz, E_o = Ertrag ohne N-Düngung, E_x = Ertrag bei N-Düngung, G = N-Gabe)

Die Effizienz sagt etwas über die Zweckmäßigkeit der N-Düngung aus, denn sie stellt die mengenmäßige Beteiligung von einem (1) kg Düngemittel an der Ertragserhöhung dar. Sie wird von folgenden Faktoren beeinflusst:

- dem **Stickstoffvorrat im Boden** und dessen **Verfügbarkeit**. Je mehr verfügbarer Stickstoff im Boden vorliegt, desto weniger Düngestickstoff wird benötigt;
- der **Düngebedarfsprognose**. Hier sind die Höhe und die Aufteilung der N-Gaben maßgeblich. Die Gaben sollten so aufgeteilt werden, daß die gedüngte Menge dem Bedarf der Kulturpflanze im gegebenen Entwicklungsstadium möglichst genau entspricht.

In der vorliegenden Arbeit wurden die N-Effizienzen verschiedener Bodenbearbeitungs- und Düngeempfehlungsmethoden miteinander verglichen. Dabei wurde ausschließlich der Kornertrag des Getreides sowie der Frischmasse- und der Kolbenertrag des Mais berücksichtigt.

3.4.1. Versuchsjahr 1989/90

3.4.1.1. Standort Gießen (Wintergerste)

Mit der Düngeempfehlung nach dem Gießener Modell wurde mehr Stickstoff zur Gerste gedüngt als nach der Nmin-Methode (Tab. 29). Die kleinsten Düngermengen wurden unter Direktsaat (Gießener Modell) und bei Pflugbearbeitung (Nmin-Methode) appliziert.

Tab. 29: Stickstoffdüngergaben (kg N/ha) bei unterschiedlicher Bodenbearbeitung

Standort: Gießen Versuchsjahr: 1989/90

| | N1 (Nmin-Methode) | N2 (Gi-Modell) |
|-----------------------|-------------------|----------------|
| Pflug (P) | 80 | 130 |
| Grubber (FR) | 90 | 130 |
| Direktsaat (D) | 90 | 120 |
| Durchschnitt | 87 | 127 |

3.4.1.1.1. Kornertrag

Aus Abbildung 34 ist ersichtlich, daß der Kornertrag in der Kontrollvariante (N0) niedriger war als in den gedüngten Varianten. Sowohl die Nmin- als auch die EUF-Methode erreichten ihren Höchstertrag in der Direktsaatvariante. Die Düngung nach der EUF-Methode erbrachte höhere Erträge in der Pflug- sowie in der Direktsaat- und niedrigere in der FR-Variante im Vergleich zur Nmin-Methode. Die Ertragsunterschiede zwischen beiden Methoden waren nicht signifikant.

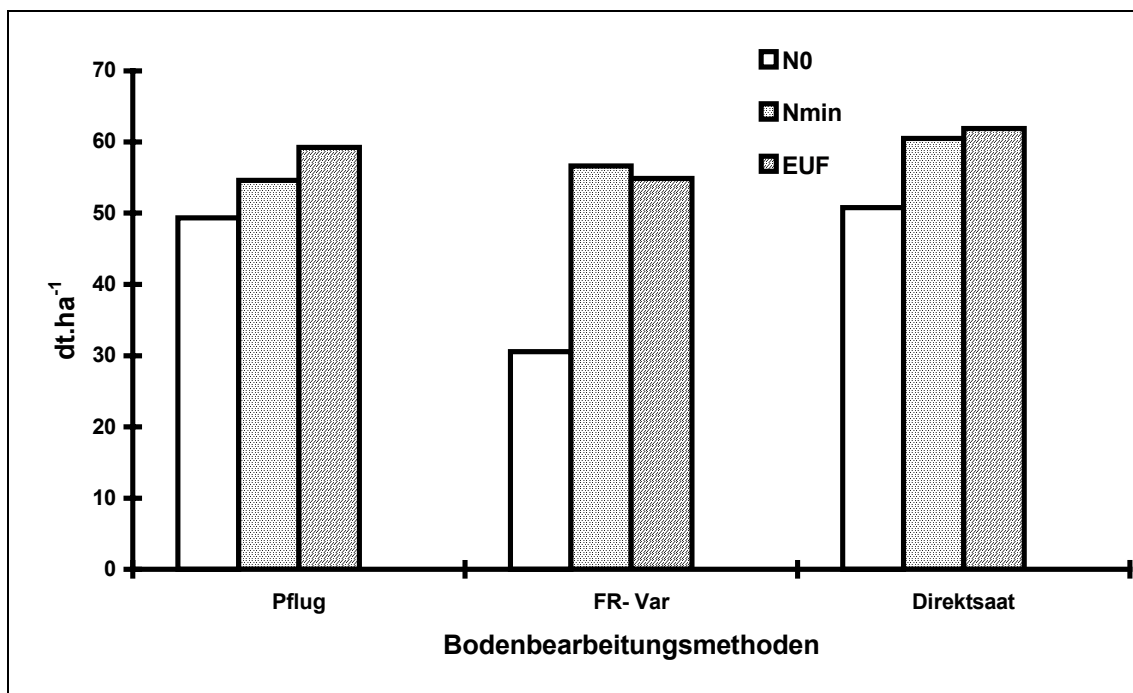


Abb. 34: Kornerträge der Wintergerste (dt/ha) bei unterschiedlicher Düngung und Bodenbearbeitung (Mittelwerte von je vier Wiederholungen)

Standort: Gießen Versuchsjahr 1989/90

N0: ohne N-Düngung N1: Nmin-Methode N2: Gi-Modell (EUF)

Vergleich der Bodenbearbeitungsmethoden: $GD(5\%) = 7,99$ $D > FR = P$, $D = P$

Vergleich der Stickstoffdüngungsvarianten: $GD(5\%) = 6,56$ $N2 = N1 > N0$

(P): $GD(5\%) = 11,34$; (FR): $GD(5\%) = 8,96$; (D): $GD(5\%) = 13,62$;

$N0 = N1 = N2$

$N1 = N2 > N0$

$N1 = N2 > N0$

Vergleicht man die Bodenbearbeitungsverfahren ohne Stickstoffdüngung, so stellt man einen hochsignifikant höheren Ertrag der Direktsaat- und einen signifikant höheren der Pflug- im Vergleich zur FR-Variante fest.

Die landwirtschaftliche Effizienz der Stickstoffdüngung zur Wintergerste war auf dem Standort Gießen (1989/ 1990) durchschnittlich höher bei Nmin-Düngung als bei Düngung nach dem Gießener Modell. Diese Feststellung gilt für die FR-Variante am deutlichsten. Bei Pflugbearbeitung und Direktsaat war der Unterschied gering. Die höchste Effizienz beider Düngeempfehlungsmethoden lag in der Grubbervariante (FR) und die niedrigste in der Pflugvariante vor (Tab. 30).

Tab. 30: Agronomische Effizienz der N-Düngung (kg Korn/kg N)

Standort: Gießen Versuchsjahr: 1989/90 Fruchtart: Wintergerste

| | Nmin-Methode | Gi-Modell |
|-----------------------|---------------------|------------------|
| Pflug (P) | 6,55 | 7,57 |
| Grubber (FR) | 28,98 | 18,71 |
| Direktsaat (D) | 10,77 | 9,22 |

3.4.1.1.2. Strohertrag

In der Abbildung 35 wurden die Stroherträge dargestellt. Aus dem Vergleich der Bodenbearbeitungsmethoden ohne N-Düngung ging ein signifikant höherer Strohertrag der Direktsaat im Vergleich zur Pflug- und ein hochsignifikant höherer im Vergleich zur FR-Variante hervor. Der Ertragsunterschied zwischen der Pflug- und der FR-Variante war in den ungedüngten Parzellen nicht signifikant.

Bei der Direktsaatvariante war der Strohertrag der Kontrolle nicht niedriger als in den gedüngten Varianten. Beide Düngungskonzepte (EUF und Nmin) brachten ihren höchsten Ertrag in der Direktsaat- und ihren niedrigsten in der FR-Variante. Bei allen Bodenbearbeitungssystemen wurde mit der EUF-Düngeempfehlung ein höherer Strohertrag erzielt als mit der Nmin-Methode, wobei die Ertragsunterschiede nicht signifikant waren.

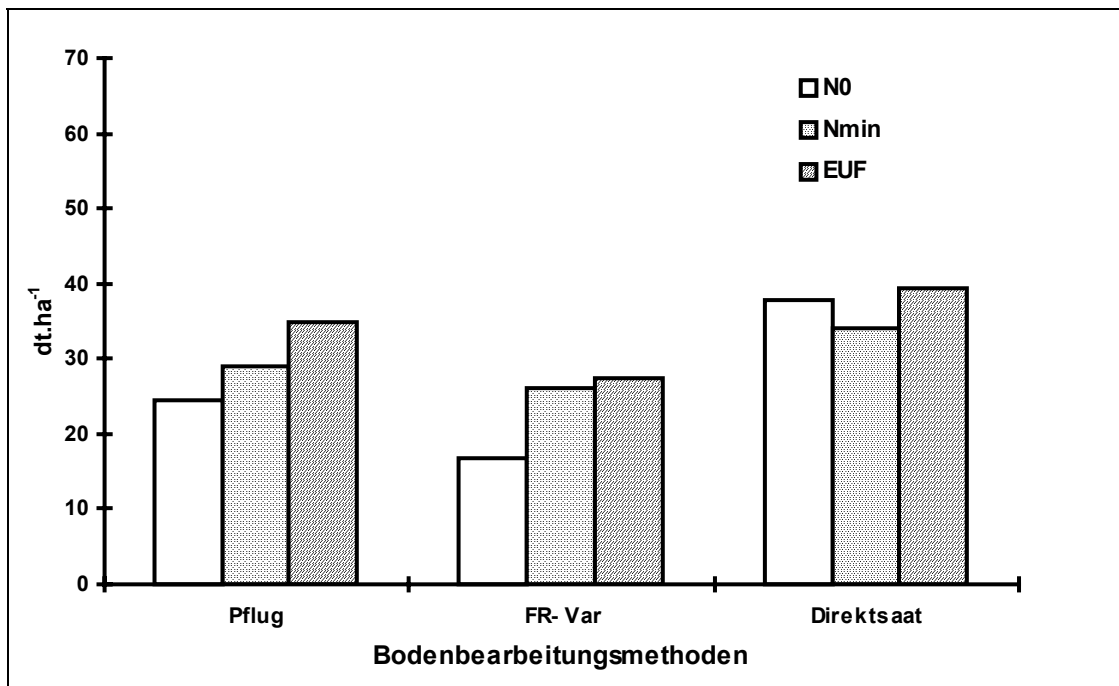


Abb. 35: Stroherträge der Wintergerste (dt/ha) bei unterschiedlicher Düngung und Bodenbearbeitung (Mittelwerte von je vier Wiederholungen)

Standort: Gießen

Versuchsjahr 1989/90

N0: ohne N-Düngung N1: Nmin-Methode N2: Gi-Modell (EUF)

Vergleich der Bodenbearbeitungsmethoden: $GD(5\%) = 5,15$ $D > P > FR$

Vergleich der Stickstoffdüngungsvarianten: $GD(5\%) = 6,56$ $N2 > N0 = N1$, $N2 = N1$

(P): $GD(5\%) = 10,98$; (FR): $GD(5\%) = 7,01$; (D): $GD(5\%) = 13,18$;

$N0 = N1 = N2$

$N1 = N2 > N0$

$N0 = N1 = N2$

3.4.1.1.3. Rohproteingehalt im Korn

Wurde keine Stickstoffdüngung verabreicht (N0), so war der Proteingehalt im Korn bei Pflugbearbeitung und Direktsaat signifikant höher (Tab. 31) als bei der Bearbeitung mit Grubber (FR-Variante). Zwischen der Pflug- und der Direktsaatvariante war kein signifikanter Unterschied vorhanden.

Die Tabelle 31 zeigt, daß der Proteingehalt im Korn der Kontrolle bei allen Bodenbearbeitungsmethoden niedriger war als in den gedüngten Varianten. Die Düngung nach der Nmin-Methode führte zu einem bei allen drei Bodenbearbeitungsverfahren statistisch gleichen Proteingehalt im Korn. Er war bei der EUF-Düngung am höchsten in der FR- und am niedrigsten in der Direktsaatvariante. In allen Bearbeitungsvarianten wurde mit dem Gießener Modell ein signifikant höherer Proteingehalt im Korn erzielt als mit der Nmin-Methode.

Tab. 31: Vergleich der Rohproteingehalte im Korn der Wintergerste (% TM) bei unterschiedlicher Düngung und Bodenbearbeitung (Mittelwerte von 4 Wiederholungen).

Standort: Gießen Versuchsjahr: 1989/90

| | N0 (ohne N-Düngung) | N1 (Nmin-Methode) | N2 (Gi-Modell) | Durchschnitt |
|---------------------|--------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|---------------------|
| Pflug | 8,70 | 9,33 | 11,14 | 9,72 |
| FR-Variante | 7,38 | 9,38 | 11,34 | 9,37 |
| Direktsaat | 8,07 | 9,48 | 10,77 | 9,44 |
| Durchschnitt | 8,05 | 9,40 | 11,08 | |

Vergleich der Bodenbearbeitungsmethoden: GD(5%) = 1,21; P = FR = D

Vergleich der Stickstoffdüngungsvarianten: GD(5%) = 0,57; N2 > N1 > N0

(P): GD(5%) = 1,18; N2 > N1 = N0

(FR): GD(5%) = 0,38; N2 > N1 > N0

(D): GD(5%) = 1,28; N2 > N1 > N0

3.4.1.1.4. Rohproteingehalt im Stroh

Beim Vergleich der Bodenbearbeitungsmethoden ohne N-Düngung lag in der FR-Variante der höchste Proteingehalt im Stroh und bei Pflug der niedrigste vor (Tab. 32). Diese Unterschiede waren nicht signifikant. Der Proteingehalt im Stroh wurde von der Stickstoffdüngung beeinflusst.

Tab. 32: Vergleich der Rohproteingehalte im Stroh der Wintergerste (% TM) bei unterschiedlicher Düngung und Bodenbearbeitung (Mittelwerte von 4 Wiederholungen).

Standort: Gießen Versuchsjahr: 1989/90

| | N0 (ohne N-Düngung) | N1 (Nmin-Methode) | N2 (Gi-Modell) | Durchschnitt |
|---------------------|--------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|---------------------|
| Pflug | 2,40 | 3,26 | 4,45 | 3,37 |
| FR-Variante | 2,91 | 3,06 | 4,02 | 3,33 |
| Direktsaat | 2,60 | 3,21 | 4,13 | 3,31 |
| Durchschnitt | 2,64 | 3,18 | 4,20 | |

Vergleich der Bodenbearbeitungsmethoden: GD(5%) = 0,69; P = FR = D

Vergleich der Stickstoffdüngungsvarianten: GD(5%) = 0,40; N2 > N1 > N0

(P): GD(5%) = 0,51; N2 > N1 > N0

(FR): GD(5%) = 0,81; N2 > N1 = N0

(D): GD(5%) = 0,98; N2 > N0 = N1, N2 = N1

Beide Düngeempfehlungsverfahren (EUF- und die Nmin-Methode) brachten ihren höchsten Proteingehalt im Stroh unter der Pflug- und ihren niedrigsten in der FR-Variante. Bei Pflugbearbeitung wurde nach der EUF-Methode ein hochsignifikant höherer Proteingehalt im Stroh gemessen als nach der Nmin-Methode. Die gleiche Tendenz lag in der FR-Variante vor. In der Direktsaatvariante hingegen war der Proteingehalt im Stroh bei den beiden N-Düngeempfehlungsmethoden ebenbürtig; hier wurde ein signifikant höherer Rohproteingehalt nach der EUF-Düngung lediglich gegenüber der Kontrolle erzielt.

3.4.1.2. Standort Wernborn (Winterweizen)

Zum Weizen wurde im Durchschnitt mehr Stickstoff nach der Nmin-Methode gedüngt als nach dem Gießener Modell (Tab. 33). Die nach der Nmin-Methode empfohlene N-Menge war bei allen Bodenbearbeitungsmethoden gleich. Mit der EUF-Düngeempfehlung wurde am meisten Stickstoff zur Direktsaat- und am wenigsten zur FR-Variante gedüngt.

Tab. 33: Stickstoffdüngergaben (kg N/ha) bei unterschiedlicher Bodenbearbeitung

Standort: Wernborn Versuchsjahr: 1989/90

| | N1 (Nmin-Methode) | N2 (Gi-Modell) |
|---------------------|--------------------------|-----------------------|
| Pflug | 160 | 110 |
| FR-Variante | 160 | 100 |
| Direktsaat | 160 | 130 |
| Durchschnitt | 160 | 113 |

3.4.1.2.1. Kornertrag

In den ungedüngten Varianten zeigte sich auf diesem Standort eine leichte Überlegenheit der FR- gegenüber der Direktsaat- und der Pflugvariante (Abb. 36), wobei die Unterschiede nicht signifikant waren. Die Ertragsbildung in Wernborn hing von der Stickstoffdüngung ab. Der Kornertrag bei unterlassener Stickstoffdüngung war signifikant niedriger im Vergleich zu den gedüngten Varianten. Die höchste Ertragswirkung der EUF- und der Nmin-Methode lag in der Direktsaat- und die niedrigste in der Pflugvariante vor. In allen drei Bodenbearbeitungsvarianten lieferte die Düngung nach der Nmin-Methode höhere Erträge als nach der EUF-Methode (Abb. 36). Ein signifikanter Unterschied zwischen beiden Methoden bestand jedoch lediglich bei allgemeiner Betrachtung der Düngungsniveaus (Durchschnitt aller Bodenbearbeitungs-methoden).

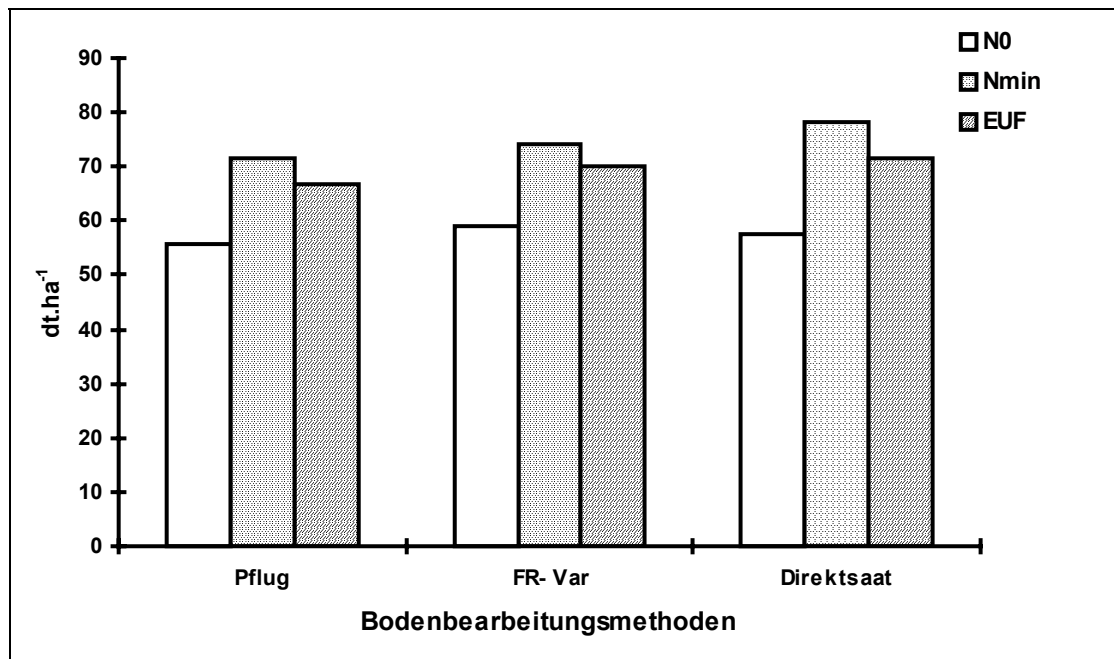


Abb. 36: Kornträge des Winterweizen (dt/ha) bei unterschiedlicher Düngung und Bodenbearbeitung (Mittelwerte von je vier Wiederholungen)

Standort: Wernborn Versuchsjahr 1989/90

N0: ohne N-Düngung N1: Nmin-Methode N2: Gi-Modell (EUF)

Vergleich der Bodenbearbeitungsmethoden: GD(5%) = 7,43 P = FR = D

Vergleich der Stickstoffdüngungsvarianten: GD(5%) = 4,29 N1 > N2 > N0

(P): GD(5%) = 7,53; (FR): GD(5%) = 9,93; (D): GD(5%) = 7,13;

N1 = N2 > N0

N1 = N2 > N0

N1 = N2 > N0

In Wernborn waren die N-Effizienzen der Düngung nach der Nmin-Methode und nach dem Gießener Modell ebenbürtig. Ausschließlich unter Direktsaat lag die Nmin-Methode minimal über dem Gießener Modell. Das Gegenteil war bei Pflug- und Grubbearbeitung der Fall.

Tab. 34: Agronomische Effizienz der N-Düngung (kg Korn/kg N)

Standort: Wernborn Versuchsjahr: 1989/90 Fruchtart: Winterweizen

| | Nmin-Methode | Gi-Modell |
|-----------------------|--------------|-----------|
| Pflug (P) | 9,89 | 10,13 |
| Grubber (FR) | 9,55 | 11,29 |
| Direktsaat (D) | 12,97 | 10,74 |

Die höchste Effizienz der Nmin-Düngung lag in der Direktsaat- und die des Gießener Modells in der Grubbervariante vor (Tab. 34).

3.4.1.2.2. Strohertrag

In den ungedüngten Parzellen wurde in der FR-Variante am meisten und unter Direktsaat am wenigsten Stroh produziert. Die Unterschiede waren statistisch nicht gesichert. Der Strohertrag (Abb. 37) stand mit der Bodenbearbeitung und mit der Düngung in einem ersichtlichen Zusammenhang. Beide N-Düngeempfehlungsmethoden (EUF und Nmin) erreichten ihren Höchstertrag in der FR- und ihren niedrigsten Ertrag in der Pflugvariante.

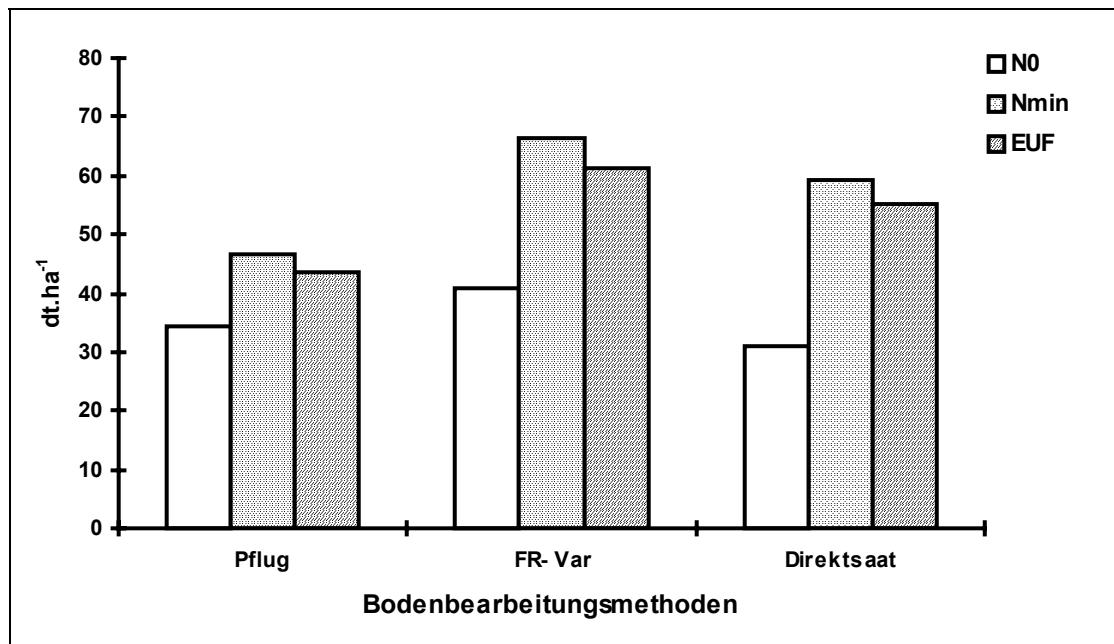


Abb. 37: Stroherträge des Winterweizens (dt/ha) bei unterschiedlicher Düngung und Bodenbearbeitung (Mittelwerte von je vier Wiederholungen)

Standort: Wernborn Versuchsjahr 1989/90

N0: ohne N-Düngung N1: Nmin-Methode N2: Gi-Modell (EUF)

Vergleich der Bodenbearbeitungsmethoden: GD(5%) = 12,82 FR > P = D, FR = D

Vergleich der Stickstoffdüngungsvarianten: GD(5%) = 11,05 N1 = N2 > N0

(P): GD(5%) = 13,67; (FR): GD(5%) = 29,98; (D): GD(5%) = 9,86;

N0 = N1 = N2

N0 = N1 = N2

N1 = N2 > N0

Bei differenzierter Bodenbearbeitung unterschieden sich die Stroherträge nur unwesentlich voneinander; lediglich die FR- besaß gegenüber der Pflugvariante einen signifikant höheren Strohertrag. Ein signifikant höherer Strohertrag lag in den gedüngten Parzellen der Direktsaatvariante gegenüber der ungedüngten vor. Die gleiche Abstufung ergibt sich bei Betrachtung des Durchschnittes aller Bodenbearbeitungsvarianten.

3.4.1.2.3. Rohproteingehalt im Korn

Ein Vergleich der N0-Parzellen zeigte einen schwach signifikant höheren Proteingehalt im Korn bei der Pflug- gegenüber der FR-Bearbeitung (Tab. 35) und einen signifikant höheren dieser beiden im Vergleich zur Direktsaat.

Tab. 35: Vergleich der Rohproteingehalte im Korn des Winterweizen (% TM) bei unterschiedlicher Düngung und Bodenbearbeitung (Mittelwerte von 4 Wiederholungen)

Standort: Wernborn Versuchsjahr: 1989/90

| | N0 (ohne N-Düngung) | N1 (Nmin-Methode) | N2 (Gi-Modell) | Durchschnitt |
|---------------------|--------------------------------|------------------------------|---------------------------|---------------------|
| Pflug | 9,92 | 13,65 | 12,58 | 12,05 |
| FR-Variante | 9,24 | 13,89 | 12,23 | 11,79 |
| Direktsaat | 8,10 | 13,21 | 12,85 | 11,39 |
| Durchschnitt | 9,09 | 13,58 | 12,55 | |

Vergleich der Bodenbearbeitungsmethoden: GD(5%) = 1,78; P = FR = D

Vergleich der Stickstoffdüngungsvarianten: GD(5%) = 0,66; N1 > N2 > N0

(P): GD(5%) = 1,50; N1 = N2 > N0

(FR): GD(5%) = 0,79; N1 > N2 > N0

(D): GD(5%) = 0,80; N1 = N2 > N0

Die Stickstoffdüngung erhöhte den Proteingehalt im Korn signifikant. Die Düngung nach der Nmin-Methode führte zu einem signifikant höheren Proteingehalt im Korn als die nach dem Gießener Modell. Bei der Nmin-Düngung lag der höchste Proteingehalt in der FR- und der niedrigste in der Direktsaatvariante vor, während bei der EUF-Methode das Gegenteil der Fall war. Die differenzierte Bodenbearbeitung führte zu keiner Veränderung der Proteingehalte im Korn.

3.4.1.2.4. Rohproteingehalt im Stroh

Tab. 36: Vergleich der Rohproteingehalte im Stroh des Winterweizen (% TM) bei unterschiedlicher Düngung und Bodenbearbeitung (Mittelwerte von 4 Wiederholungen)

Standort: Wernborn Versuchsjahr: 1989/90

| | N0 (ohne N-Düngung) | N1 (Nmin-Methode) | N2 (Gi-Modell) | Durchschnitt |
|---------------------|--------------------------------|------------------------------|---------------------------|---------------------|
| Pflug | 1,76 | 2,54 | 2,13 | 2,14 |
| FR-Variante | 1,80 | 3,11 | 2,24 | 2,38 |
| Direktsaat | 1,34 | 2,25 | 1,94 | 1,84 |
| Durchschnitt | 1,63 | 2,63 | 2,10 | |

Vergleich der Bodenbearbeitungsmethoden: GD(5%) = 0,46; FR > D = P, FR = P

Vergleich der Stickstoffdüngungsvarianten: GD(5%) = 0,34; N1 > N2 > N0

(P): GD(5%) = 0,70; N1 > N0 = N2, N1 = N2

(FR): GD(5%) = 0,62; N1 > N2 = N0

(D): GD(5%) = 0,31; N1 = N2 > N0, N2 = N1

Die N-gedüngten Parzellen hatten höhere Proteingehalte im Stroh als die ungedüngten (Tab. 36). Der Proteingehalt im Stroh der ungedüngten FR-Variante war dem der Pflugvariante leicht überlegen und schwach signifikant höher als der der Direktsaatvariante; zwischen der Pflugbearbeitung und der Direktsaat bestand kein signifikanter Unterschied.

Der höchste Proteingehalt beider Düngungskonzepte (EUF und Nmin) lag in der FR- und der niedrigste in der Direktsaatvariante vor. Die Düngung nach der Nmin-Methode führte in allen

Bodenbearbeitungsvarianten zu höheren Proteingehalten als nach dem Gießener Modell, wobei der Unterschied lediglich in der FR-Variante signifikant war. Bei einer allgemeinen Bewertung schnitt die FR-Variante bezüglich des Proteingehalts im Stroh am besten ab. Sie führte gegenüber der Direktsaat zu einem signifikant und gegenüber der Pflugbearbeitung zu einem nicht signifikant höheren Proteingehalt im Stroh; Pflugbearbeitung und Direktsaat waren ebenbürtig.

3.4.1.3. Standort Hassenhausen (Wintergerste)

Aus der Tabelle 37 ist ersichtlich, daß zur Gerste mehr Düngestickstoff nach dem Gießener Modell empfohlen wurde als nach der Nmin-Methode. Mit der letztgenannten Methode bekam die FR-Variante und mit dem Gießener Modell die Pflugvariante die höchste N-Düngermenge.

Tab. 37: Stickstoffdüngergaben (kg N/ha) bei unterschiedlicher Bodenbearbeitung

Standort: Hassenhausen Versuchsjahr: 1989/90

| | N1 (Nmin-Methode) | N2 (Gi-Modell) |
|---------------------|--------------------------|-----------------------|
| Pflug | 90 | 110 |
| FR-Variante | 100 | 100 |
| Direktsaat | 90 | 100 |
| Durchschnitt | 93 | 103 |

3.4.1.3.1. Kornertrag

Ohne N-Düngung war der Kornertrag nach Pflugbearbeitung signifikant niedriger als in der FR-Variante und hochsignifikant niedriger als unter Direktsaat; zwischen der FR-Variante und der Direktsaat bestand kein signifikanter Unterschied (Abb. 38). Die gedüngten Parzellen brachten signifikant höhere Kornerträge als die ungedüngten. Wie die Abbildung 38 zeigt, erzielte die Düngung nach der EUF-Methode einen nicht signifikant höheren Kornertrag in allen Bodenbearbeitungssystemen als die Nmin-Methode. Im Durchschnitt war der Kornertrag in der Direktsaat- signifikant höher als in der Pflugvariante. Zwischen beiden Verfahren und der FR-Variante bestand kein signifikanter Unterschied.

Durchschnittlich waren die Effizienzen der N-Düngung nach der Nmin-Methode und nach dem Gießener Modell gleich. Eine höhere Effizienz der Nmin-Methode als beim Gießener Modell lag in der Pflug- und der Direktsaatvariante vor. Bei der FR-Variante war das Verhältnis umgekehrt (Tab. 38). Die höchste Effizienz beider Methoden wurde bei Pflugbearbeitung ermittelt.

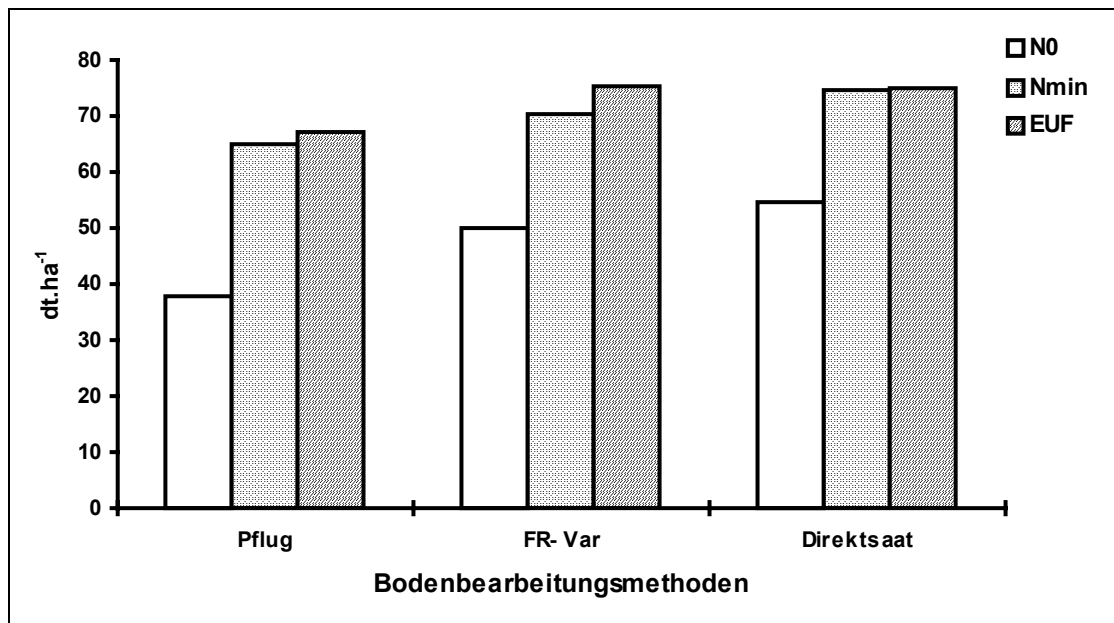


Abb. 38: Kornträge der Wintergerste (dt/ha) bei unterschiedlicher Düngung und Bodenbearbeitung (Mittelwerte von je vier Wiederholungen)

Standort: Hassenhausen Versuchsjahr 1989/90

N0: ohne N-Düngung N1: Nmin-Methode N2: Gi-Modell (EUF)

Vergleich der Bodenbearbeitungsmethoden: GD(5%) = 10,62 D > P = FR, D = FR

Vergleich der Stickstoffdüngungsvarianten: GD(5%) = 5,89 N1 = N2 > N0

(P): GD(5%) = 5,26; (FR): GD(5%) = 10,66; (D): GD(5%) = 7,77;

N1 = N2 > N0

N1 = N2 > N0

N1 = N2 > N0

Tab. 38: Agronomische Effizienz der N-Düngung (kg Korn/kg N)

Standort: Hassenhausen Versuchsjahr: 1989/90 Fruchtart: Wintergerste

| | Nmin-Methode | Gi-Modell |
|-----------------------|--------------|-----------|
| Pflug (P) | 30,31 | 26,75 |
| Grubber (FR) | 20,60 | 25,44 |
| Direktsaat (D) | 21,97 | 20,19 |

3.4.1.3.2. Strohertrag

In den N0-Parzellen waren gegenüber der Direktsaatvariante der Strohertrag der Pflugvariante signifikant niedriger und der der FR-Variante hochsignifikant niedriger (Abb. 39). Letztgenannte Variante unterschied sich statistisch nicht von der Pflugbearbeitung. Im Durchschnitt wurde in den gedüngten Parzellen signifikant weniger Stroh beim Pflug- und beim FR-Verfahren produziert als bei Direktsaat. In der FR- und der Direktsaatvariante wurde mit der EUF-Düngeempfehlung mehr Stroh erzeugt. Bei Pflugbearbeitung war die Nmin-Methode der EUF-Methode (Gießener Modell) überlegen (Abb. 39). Beide N-Düngeempfehlungskonzepte waren jedoch statistisch gesehen gleich und der Kontrollvariante überlegen.

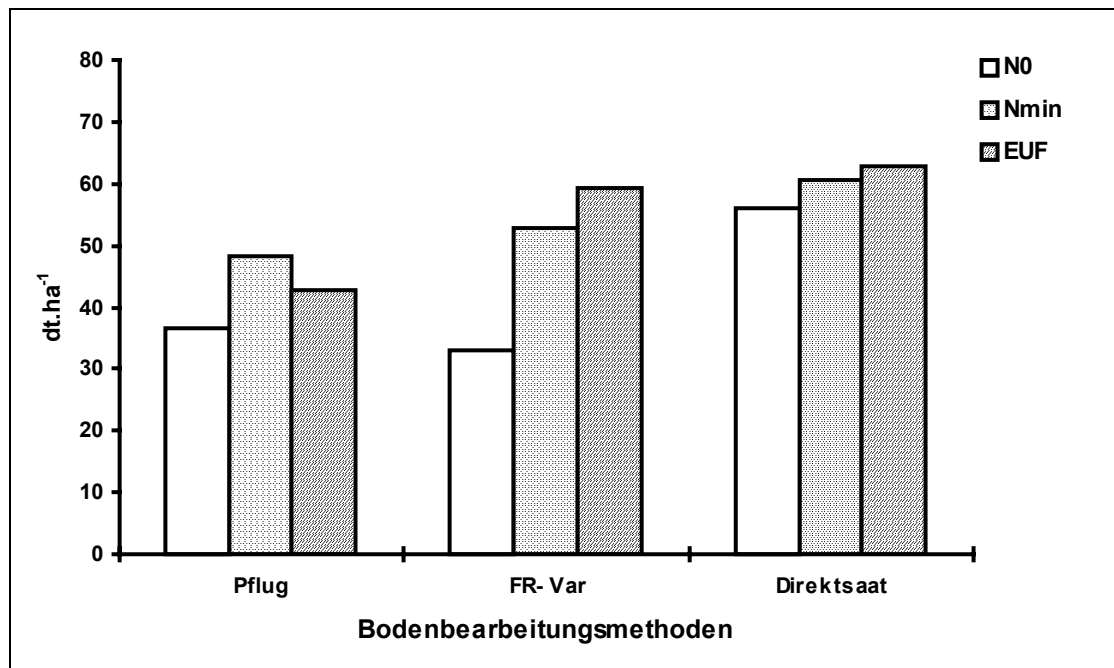


Abb. 39: Stroherträge der Wintergerste (dt/ha) bei unterschiedlicher Düngung und Bodenbearbeitung (Mittelwerte von je vier Wiederholungen)

Standort: Hassenhausen

Versuchsjahr 1989/90

N0: ohne N-Düngung N1: Nmin-Methode N2: Gi-Modell (EUF)

Vergleich der Bodenbearbeitungsmethoden: $GD(5\%) = 9,34$ $D > FR = P$

Vergleich der Stickstoffdüngungsvarianten: $GD(5\%) = 10,45$ $N1 = N2 > N0$

(P): $GD(5\%) = 17,67$; (FR): $GD(5\%) = 16,99$; (D): $GD(5\%) = 13,54$;

N0 = N1 = N2

N0 = N1 = N2

N0 = N1 = N2

3.4.1.3.3. Rohproteingehalt im Korn

Beim Verzicht auf Stickstoffdüngung lagen bei allen Bodenbearbeitungsverfahren niedrigere Proteingehalte im Korn vor als bei N-Düngung. In den ungedüngten Parzellen der Pflugvariante wurde mehr Protein im Korn nachgewiesen als in den FR- und den Direktsaatparzellen. Die Bodenbearbeitungssysteme waren statistisch ebenbürtig (Tab. 39).

Mit der EUF-Düngung (Gießener Modell) wurde der höchste Proteingehalt im Korn bei Pflugbearbeitung und der niedrigste bei Direktsaat ermittelt. Die Nmin-Düngung brachte den höchsten Proteingehalt in der FR- und den geringsten in der Pflugvariante. Die N-Düngung nach EUF erbrachte im Durchschnitt signifikant höhere Proteingehalte als nach der Nmin-Methode (Tab. 39).

Tab. 39: Vergleich der Rohproteingehalte im Korn der Wintergerste (% TM) bei unterschiedlicher Düngung und Bodenbearbeitung (Mittelwerte von 4 Wiederholungen)

Standort: Hassenhausen Versuchsjahr: 1989/90

| | N0 (ohne N-Düngung) | N1 (Nmin-Methode) | N2 (Gi-Modell) | Durchschnitt |
|---------------------|--------------------------------|------------------------------|---------------------------|---------------------|
| Pflug | 7,87 | 8,73 | 10,24 | 8,95 |
| FR-Variante | 7,21 | 9,50 | 10,06 | 8,92 |
| Direktsaat | 7,30 | 8,98 | 9,55 | 8,61 |
| Durchschnitt | 7,46 | 9,07 | 9,95 | |

Vergleich der Bodenbearbeitungsmethoden: GD(5%) = 1,23; P = FR = D

Vergleich der Stickstoffdüngungsvarianten: GD(5%) = 0,85; N2 > N1 > N0

(P): GD(5%) = 1,92; N2 > N0 = N1, N2 = N1

(FR): GD(5%) = 1,01; N2 = N1 > N0

(D): GD(5%) = 2,06; N2 > N0 = N1, N2 = N1

3.4.1.3.4. Proteingehalt im Stroh

Ohne N-Düngung bestand kein signifikanter Unterschied zwischen den Proteingehalten im Stroh verschiedener Bodenbearbeitungsvarianten (Tab. 40). Die N-Düngung führte zu einer signifikanten Erhöhung des Proteingehaltes im Stroh gegenüber den N0-Varianten.

Die Düngung nach der EUF-Methode erbrachte in den einzelnen Bearbeitungsvarianten höhere Proteingehalte als nach der Nmin-Methode, jedoch waren die Unterschiede in keinem Fall statistisch abgesichert. Sowohl die Nmin- als auch die EUF-Methode (Gießener Modell) erzielten die höchste Proteinbildung im Stroh in der FR-Variante und ihre niedrigste unter Direktsaat. Dahingegen brachten beide Düngeempfehlungsmethoden (Tab. 40) im Durchschnitt aller Bodenbearbeitungsverfahren signifikant höhere Proteingehalte im Stroh als die Kontrollvariante.

Tab. 40: Vergleich der Rohproteingehalte im Stroh der Wintergerste (% TM) bei unterschiedlicher Düngung und Bodenbearbeitung (Mittelwerte von 4 Wiederholungen)

Standort: Hassenhausen Versuchsjahr: 1989/90

| | N0 (ohne N-Düngung) | N1 (Nmin-Methode) | N2 (Gi-Modell) | Durchschnitt |
|---------------------|--------------------------------|------------------------------|---------------------------|---------------------|
| Pflug | 1,95 | 2,57 | 2,93 | 2,48 |
| FR-Variante | 1,89 | 3,06 | 3,38 | 2,78 |
| Direktsaat | 1,97 | 2,08 | 2,68 | 2,24 |
| Durchschnitt | 1,94 | 2,57 | 3,00 | |

Vergleich der Bodenbearbeitungsmethoden: GD(5%) = 0,57; P = FR = D

Vergleich der Stickstoffdüngungsvarianten: GD(5%) = 0,46; N2 = N1 > N0

(P): GD(5%) = 0,67; N2 > N0 = N1, N2 = N1

(FR): GD(5%) = 1,05; N2 = N1 > N0

(D): GD(5%) = 0,71; N2 = N1 = N0

3.4.1.4. Standort Bruchköbel (Winterweizen)

Zum Winterweizen wurde mit der Nmin-Methode wesentlich mehr Stickstoff gedüngt als mit dem Gießener Modell (Tab. 41).

Tab. 41: Stickstoffdüngergaben (kg N/ha) bei unterschiedlicher Bodenbearbeitung

Standort: Bruchköbel Versuchsjahr: 1989/90

| | N1 (Nmin-Methode) | N2 (Gi-Modell) |
|---------------------|--------------------------|-----------------------|
| Pflug | 180 | 140 |
| FR-Variante | 190 | 140 |
| Direktsaat | 180 | 140 |
| Durchschnitt | 183 | 140 |

Die unterschiedlichen Bodenbearbeitungsvarianten wurde nach dem Gießener Modell einheitlich gedüngt. Die Grubbervariante (FR) bekam nach der Nmin-Methode die höchste Stickstoffgabe.

3.4.1.4.1. Kornertrag

Die ungedüngten Parzellen der Pflugvariante erbrachten die niedrigsten Kornerträge, die der FR- und der Direktsaatvariante waren höher und identisch. Aus der Abbildung 40 ist ersichtlich, daß die N-gedüngten Parzellen signifikant höhere Erträge erbrachten als die ungedüngten. Mit der Düngung nach dem Gießener Modell wurden in der FR- und der Direktsaatvariante höhere Erträge und bei Pflugbearbeitung gleiche Erträge erzielt als mit der Nmin-Methode; die Differenzen waren nicht signifikant. Die höchsten Erträge der gedüngten Varianten (nach der Nmin- und der EUF-Methode) wurden in der Direktsaat erzielt.

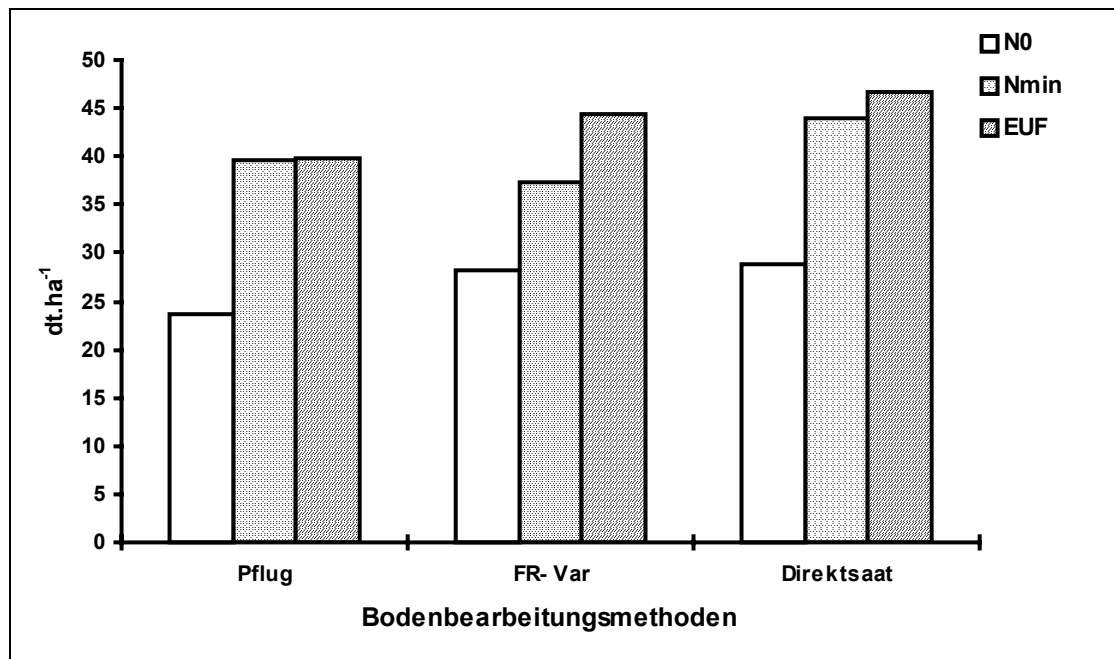


Abb. 40: Kornträge des Winterweizens (dt/ha) bei unterschiedlicher Düngung und Bodenbearbeitung (Mittelwerte von je vier Wiederholungen)

Standort: Bruchköbel Versuchsjahr 1989/90

N0: ohne N-Düngung N1: Nmin-Methode N2: Gi-Modell (EUF)

Vergleich der Bodenbearbeitungsmethoden: GD(5%) = 8,03 P = FR = D

Vergleich der Stickstoffdüngungsvarianten: GD(5%) = 5,37 N1 = N2 > N0

(P): GD(5%) = 8,27; (FR): GD(5%) = 7,76; (D): GD(5%) = 13,90;

N1 = N2 > N0 N1 = N2 > N0 N1 = N2 > N0

Auf dem Standort Bruchköbel war die Effizienz der Nmin-Düngung in allen Bodenbearbeitungsvarianten niedriger als bei Düngung nach dem Gießener Modell. Diese Tendenz war bei der Grubbervariante (FR) besonders ausgeprägt (Tab. 42).

Tab. 42: Agronomische Effizienz der N-Düngung (kg Korn/kg N)

Standort: Bruchköbel Versuchsjahr: 1989/90 Fruchtart: Winterweizen

| | Nmin-Methode | Gi-Modell |
|-----------------------|--------------|-----------|
| Pflug (P) | 8,94 | 11,59 |
| Grubber (FR) | 4,83 | 11,49 |
| Direktsaat (D) | 8,34 | 12,64 |

Die höchste Effizienz der Nmin-Düngung lag in der Pflug- und die des Gießener Modells in der Direktsaatvariante vor.

3.4.1.4.2. Strohertrag

In den ungedüngten Parzellen schnitt die FR-Variante hinsichtlich des Strohertrags am schlechtesten und die Direktsaat am besten ab (Abb. 41). Die Bodenbearbeitungsverfahren unterschieden sich aber nicht signifikant von einander. Die Stickstoffdüngung übte einen großen Einfluß auf den Strohertrag des Weizens aus. Beide N-Düngeempfehlungsmethoden waren ebenbürtig (keine signifikanten Unterschiede) und führten zu einem signifikant höheren

Strohertrag als die Kontrolle (N0). Bei der Nmin-Düngung wurde am meisten Stroh in der Direktsaat und am wenigsten in der FR-Variante gebildet. Mit der EUF-Düngung wurde im Pflug ein höherer Ertrag erzielt als in der FR- und der Direktsaatvariante.

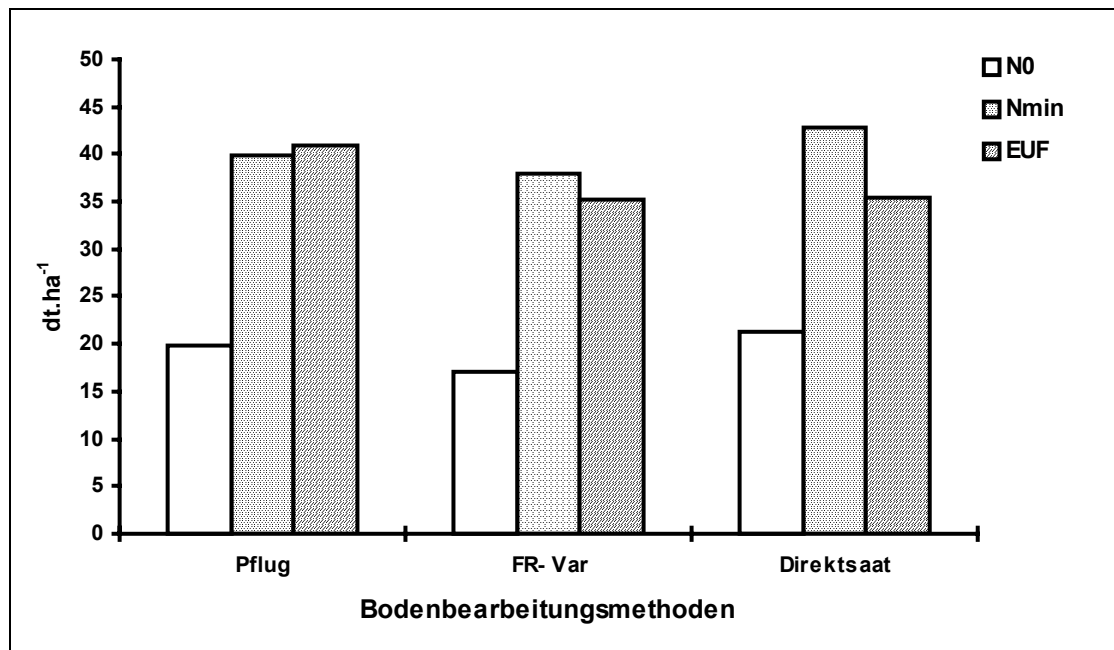


Abb. 41: Stroherträge des Winterweizen (dt/ha) bei unterschiedlicher Düngung und Bodenbearbeitung (Mittelwerte von je vier Wiederholungen)

Standort: Bruchköbel Versuchsjahr 1989/90

N0: ohne N-Düngung

N1: Nmin-Methode

N2: Gi-Modell (EUF)

Vergleich der Bodenbearbeitungsmethoden: $GD(5\%) = 8,93$ $P = FR = D$

Vergleich der Stickstoffdüngungsvarianten: $GD(5\%) = 4,25$ $N1 = N2 > N0$

(P): $GD(5\%) = 4,99$;

(FR): $GD(5\%) = 7,74$;

(D): $GD(5\%) = 10,60$;

$N1 = N2 > N0$

$N1 = N2 > N0$

$N1 = N2 > N0$

3.4.1.4.3. Rohproteingehalt im Korn

In der Kontrollvariante führte die FR-Bearbeitung zu einem signifikant und die Pflugbearbeitung zu einem hochsignifikant niedrigeren Proteingehalt im Vergleich zur Direktsaat. Der Proteinehalt im Korn der Düngungsvarianten (EUF und Nmin) war in allen Bodenbearbeitungssystemen statistisch gleich und signifikant höher als in der ungedüngten Variante. Allgemein betrachtet hatten die drei Bodenbearbeitungsverfahren vergleichbare Proteingehalte im Korn (Tab. 43).

Tab. 43: Vergleich der Rohproteingehalte im Korn des Winterweizen (% TM) bei unterschiedlicher Düngung und Bodenbearbeitung (Mittelwerte von 4 Wiederholungen)

Standort: Bruchköbel Versuchsjahr: 1989/90

| | N0 (ohne N-Düngung) | N1 (Nmin-Methode) | N2 (Gi-Modell) | Durchschnitt |
|---------------------|--------------------------------|------------------------------|---------------------------|---------------------|
| Pflug | 9,71 | 18,35 | 17,05 | 15,04 |
| FR-Variante | 10,29 | 18,40 | 17,24 | 15,31 |
| Direktsaat | 11,64 | 17,99 | 16,87 | 15,50 |
| Durchschnitt | 10,55 | 18,25 | 17,05 | |

Vergleich der Bodenbearbeitungsmethoden: GD(5%) = 3,04; P = FR = D

Vergleich der Stickstoffdüngungsvarianten: GD(5%) = 0,79; N1 > N2 > N0

(P): GD(5%) = 1,70; N1 = N2 > N0

(FR): GD(5%) = 1,28; N1 = N2 > N0

(D): GD(5%) = 1,26; N1 = N2 > N0

3.4.1.4.4. Rohproteingehalt im Stroh

In der Kontrolle (N0) erbrachte die Pflugbearbeitung den niedrigsten und die Direktsaat den höchsten Proteingehalt im Stroh; jedoch waren die Unterschiede statistisch nicht absicherbar.

Tab. 44: Vergleich der Rohproteingehalte im Stroh des Winterweizen (% TM) bei unterschiedlicher Düngung und Bodenbearbeitung (Mittelwerte von 4 Wiederholungen)

Standort: Bruchköbel Versuchsjahr: 1989/90

| | N0 (ohne N-Düngung) | N1 (Nmin-Methode) | N2 (Gi-Modell) | Durchschnitt |
|---------------------|--------------------------------|------------------------------|---------------------------|---------------------|
| Pflug | 1,88 | 6,09 | 3,77 | 3,91 |
| FR-Variante | 2,15 | 5,51 | 3,78 | 3,81 |
| Direktsaat | 2,42 | 4,62 | 4,33 | 3,79 |
| Durchschnitt | 2,15 | 5,41 | 3,96 | |

Vergleich der Bodenbearbeitungsmethoden: GD(5%) = 1,30; P = FR = D

Vergleich der Stickstoffdüngungsvarianten: GD(5%) = 0,59; N1 > N2 > N0

(P): GD(5%) = 1,34; N1 > N2 > N0

(FR): GD(5%) = 0,63; N1 > N2 > N0

(D): GD(5%) = 0,95; N1 = N2 > N0

In den nach der Nmin-Methode gedüngten Parzellen der Pflug- und der FR-Variante war ein signifikant höherer Proteingehalt im Stroh vorhanden als bei der EUF-Methode. In der Direktsaatvariante waren die EUF- und die Nmin-Methode ebenbürtig. Insgesamt lagen zwischen den Bodenbearbeitungsverfahren keine signifikanten Unterschied im Proteingehalt des Strohs vor (Tab. 44).

3.4.2. Versuchsjahr 1990/91

3.4.2.1. Standort Gießen (Silomais)

Zum Silomais wurde nach dem Gießener Modell weniger Stickstoff empfohlen als nach der Nmin-Methode. Mit beiden Verfahren wurde am wenigsten N-Dünger bei Pflugbearbeitung appliziert (Tab. 45).

Tab. 45: Stickstoffdüngergaben (kg N/ha) bei unterschiedlicher Bodenbearbeitung

Standort: Gießen Versuchsjahr: 1990/91

| | N1 (Nmin-Methode) | N2 (Gi-Modell) |
|---------------------|--------------------------|-----------------------|
| Pflug | 145 | 120 |
| FR-Variante | 155 | 130 |
| Direktsaat | 160 | 135 |
| Durchschnitt | 153 | 128 |

3.4.2.1.1. Frischmasseertrag

Vergleicht man die ungedüngten Parzellen miteinander, so zeigt sich ein hochsignifikant höherer Ertrag bei Pflugbearbeitung im Vergleich zu der Direktsaat- und der FR-Variante und ein signifikant höherer Ertrag letztgenannter gegenüber der Direktsaat (Abb. 42). Die Stickstoffdüngung hatte keinen signifikanten Einfluß auf dem Ertrag.

Ein Einfluß der Bodenbearbeitung auf den Silomaisertrag war vorhanden. Unabhängig vom Düngungsniveau war der Ertrag in der FR- und in der Direktsaatvariante signifikant niedriger als in der Pflugvariante.

Mit Ausnahme der Pflugvariante war die Effizienz der Stickstoffdüngung nach dem Gießener Modell höher als nach der Nmin-Methode. Die niedrigsten Effizienzen beider Methoden lagen in der Grubbervariante (FR) vor. Unter Direktsaat war die Effizienz des Gießener Modells am höchsten (Tab. 46).

Tab. 46: Agronomische Effizienz der N-Düngung (kg Silomais/kg N)

Standort: Gießen Versuchsjahr: 1990/91 Fruchtart: Silomais

| | Nmin-Methode | Gi-Modell |
|-----------------------|---------------------|------------------|
| Pflug (P) | 17,93 | 15,00 |
| Grubber (FR) | 0,00 | 10,00 |
| Direktsaat (D) | 16,87 | 24,44 |

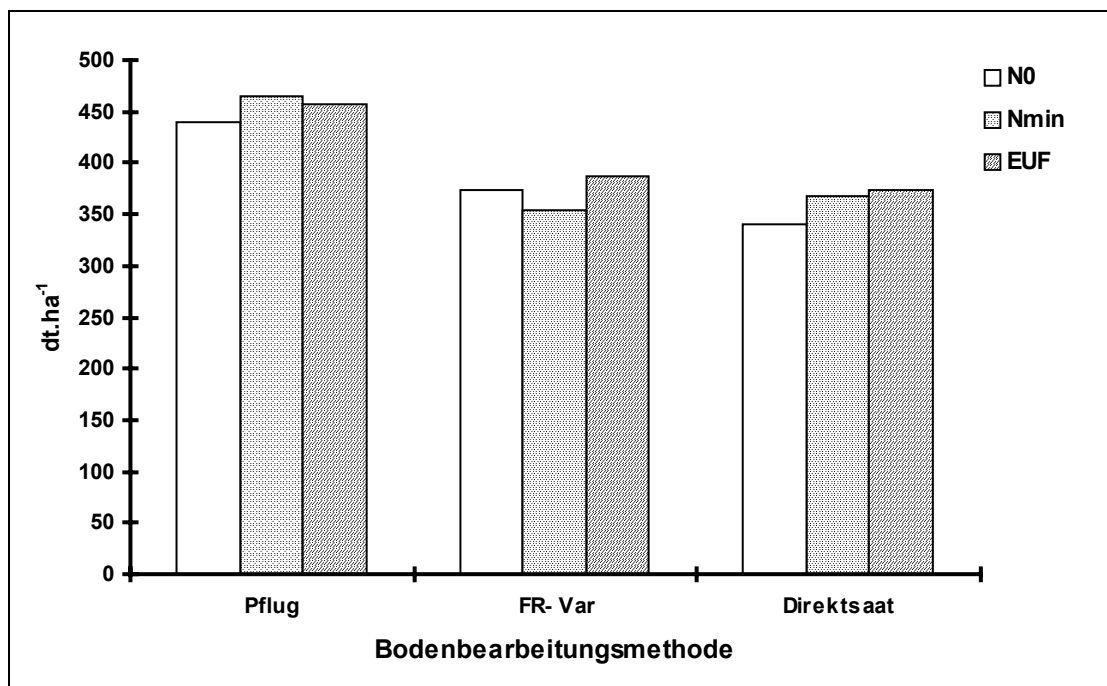


Abb. 42: Frischmasseerträge des Silomais (dt/ha) bei unterschiedlicher Düngung und Bodenbearbeitung (Mittelwerte von je vier Wiederholungen)

Standort: Gießen

Versuchsjahr 1990/91

N0: ohne N-Düngung N1: Nmin-Methode N2: Gi-Modell (EUF)

Vergleich der Bodenbearbeitungsmethoden: GD(5%) = 38,93 P > FR = D

Vergleich der Stickstoffdüngungsvarianten: GD(5%) = 50,75 N0 = N1 = N2

(P): GD(5%) = 109,23; (FR): GD(5%) = 42,24; (D): GD(5%) = 59,56;

N0 = N1 = N2

N0 = N1 = N2

N0 = N1 = N2

3.4.2.1.2. Rohproteingehalt im Silomais

Unter den N0-Varianten wurden in der Direktsaat- der höchste und in der FR-Variante der niedrigste Proteingehalt gemessen (Tab. 47); die Unterschiede waren jedoch nicht signifikant. Mit Ausnahme der Nmin-Variante bei Pflugbearbeitung führte die Stickstoffdüngung zu höheren Proteingehalten im Vergleich zur Kontrolle.

Tab. 47: Vergleich der Rohproteingehalte vom Silomais (% TM) bei unterschiedlicher Düngung und Bodenbearbeitung (Mittelwerte von 4 Wiederholungen)

Standort: Gießen Versuchsjahr: 1990/91

| | N0 (ohne N-Düngung) | N1 (Nmin-Methode) | N2 (Gi-Modell) | Durchschnitt |
|---------------------|--------------------------------|------------------------------|---------------------------|---------------------|
| Pflug | 16,75 | 16,75 | 17,58 | 17,03 |
| FR-Variante | 16,50 | 17,02 | 17,73 | 17,08 |
| Direktsaat | 16,95 | 18,33 | 17,60 | 17,63 |
| Durchschnitt | 16,73 | 17,37 | 17,64 | |

Vergleich der Bodenbearbeitungsmethoden: GD(5%) = 0,82; P = FR = D

Vergleich der Stickstoffdüngungsvarianten: GD(5%) = 0,78; N2 > N0 = N1, N2 = N1

(P): GD(5%) = 1,50; N2 = N1 = N0

(FR): GD(5%) = 0,99; N2 > N0 = N1, N2 = N1

(D): GD(5%) = 1,84; N2 = N1 = N0

Im Durchschnitt war der Proteingehalt im Silomais nach der Düngung nach dem Gießener Modell genauso hoch wie nach der Nmin-Methode. In der Pflug- und der FR-Variante wurde mit dem Gießener Modell ein höherer Proteingehalt erzielt als mit der Nmin-Methode. Unter Direktsaat hingegen war die gegenteilige Tendenz zu verzeichnen (Tab. 47). In den Nmin-gedüngten Varianten lag der höchste Proteingehalt in der Direktsaat- und der niedrigste in der Pflugvariante vor. In der EUF-gedüngten Parzellen war der Proteingehalt relativ ausgeglichen mit einer minimalen Überlegenheit in der FR-Variante.

3.4.2.2. Standort Wernborn (Winterweizen)

Nach dem Gießener Modell wurde weniger Stickstoff zum Winterweizen empfohlen als nach der Nmin-Methode (Tab. 48). Mit beiden Methoden wurden alle Bearbeitungsvarianten relativ gleichmäßig gedüngt.

Tab. 48: Stickstoffdüngergaben (kg N/ha) bei unterschiedlicher Bodenbearbeitung

Standort: Wernborn Versuchsjahr: 1990/91

| | N1 (Nmin-Methode) | N2 (Gi-Modell) |
|---------------------|--------------------------|-----------------------|
| Pflug | 160 | 110 |
| FR-Variante | 165 | 115 |
| Direktsaat | 165 | 110 |
| Durchschnitt | 163 | 112 |

3.4.2.2.1. Kornertrag

Ohne N-Düngung (N0) wurde mit der Direktsaat ein schwach signifikant höherer Ertrag erzielt als mit der Pflug- und in der FR-Variante. Die beiden letzteren erbrachten gleiche Erträge. Die Stickstoffdüngung (Nmin-Methode und Gießener Modell) brachte einen signifikanten Ertragszuwachs des Weizen gegenüber der Kontrolle. Die Düngung nach der Nmin-Methode führte zu einem signifikant höheren Kornertrag im Vergleich zum Gießener

Modell. Der höchste Ertrag nach Nmin-Düngung wurde in der FR-Variante und der niedrigste unter Direktsaat ermittelt (Abb. 43). Der Ertrag nach Anwendung der EUF-Methode war am niedrigsten bei Pflug-, während bei FR-Bearbeitung und Direktsaat gleiche Erträge vorhanden waren. Im Durchschnitt waren die Bearbeitungsverfahren ebenbürtig (Abb. 43). In allen drei Bodenbearbeitungsvarianten wurde zwar mit der Nmin-Düngung ein höherer Ertrag erzielt als mit der EUF-Methode, aber nur in der FR-Variante war der Unterschied signifikant.

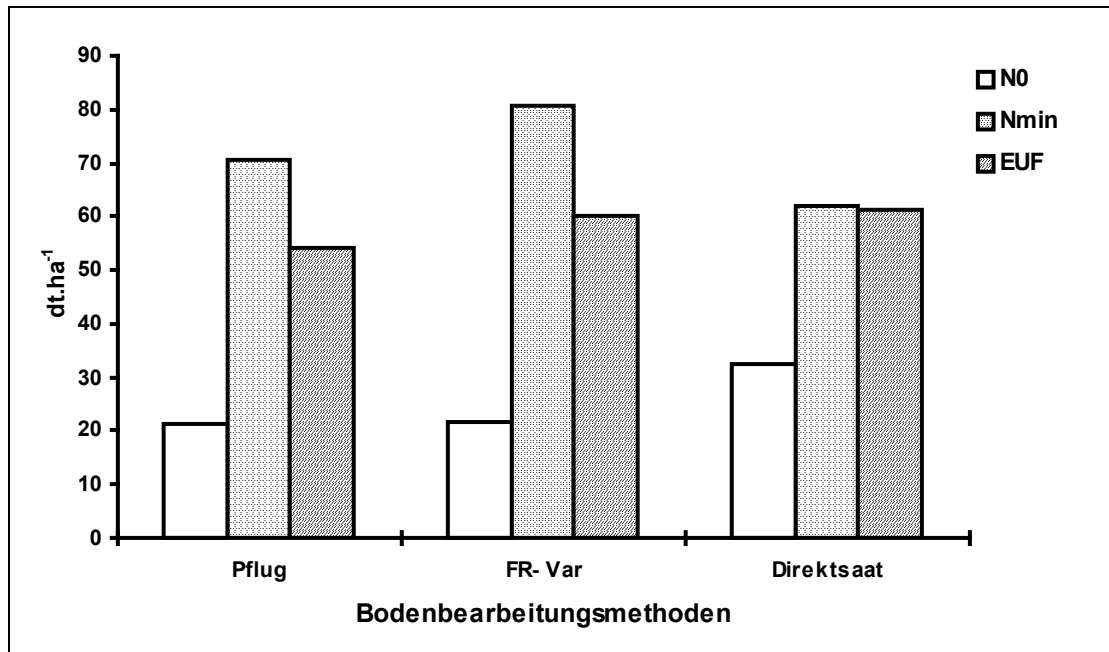


Abb. 43: Kornerträge des Winterweizens (dt/ha) bei unterschiedlicher Düngung und Bodenbearbeitung (Mittelwerte von je vier Wiederholungen)

Standort: Wernborn Versuchsjahr 1990/91

N0: ohne N-Düngung N1: Nmin-Methode N2: Gi-Modell (EUF)

Vergleich der Bodenbearbeitungsmethoden: GD(5%) = 18,26 P = FR = D

Vergleich der Stickstoffdüngungsvarianten: GD(5%) = 7,44 N1 > N2 > N0

(P): GD(5%) = 15,47; (FR): GD(5%) = 10,37; (D): GD(5%) = 9,15;

N1 > N2 > N0

N1 > N2 > N0

N1 = N2 > N0

Auf dem Standort Wernborn brachten das Gießener Modell und die Nmin-Düngung die gleiche Effizienz. Unter Direktsaat war das Gießener Modell der Nmin-Methode überlegen (Tab. 49).

Tab. 49: Agronomische Effizienz der N-Düngung (kg Korn/kg N)

Standort: Wernborn Versuchsjahr: 1990/91 Fruchtart: Winterweizen

| | Nmin-Methode | Gi-Modell |
|-----------------------|--------------|-----------|
| Pflug (P) | 30,82 | 29,66 |
| Grubber (FR) | 35,63 | 33,23 |
| Direktsaat (D) | 17,85 | 26,15 |

Die höchste Effizienz beider Düngempfehlungsmethoden lag in der Grubbervariante (FR) vor.

3.4.2.2.2. Strohertrag

Beim Vergleich der Bodenbearbeitungsmethoden ohne Stickstoffdüngung wurden der höchste Strohertrag bei der Direktsaat und der niedrigste bei der FR-Variante festgestellt (Abb. 44). Die Differenzen waren nicht signifikant. Der Strohertrag war signifikant niedriger in der Kontrolle als in den gedüngten Varianten. Am meisten Stroh wurde mit der Nmin-Düngung in der FR-Variante und mit der EUF-Düngung in der Pflugvariante produziert. Die N-Düngung nach dem Gießener Modell führte lediglich in der Pflugvariante zu einem höheren Strohertrag als nach der Nmin-Methode. In der FR- und der Direktsaatvariante war das Gegenteil der Fall. Zwischen der Nmin- und der EUF-Methode bestand, was den Strohertrag anbelangt nur in der FR-Variante ein signifikanter Unterschied.

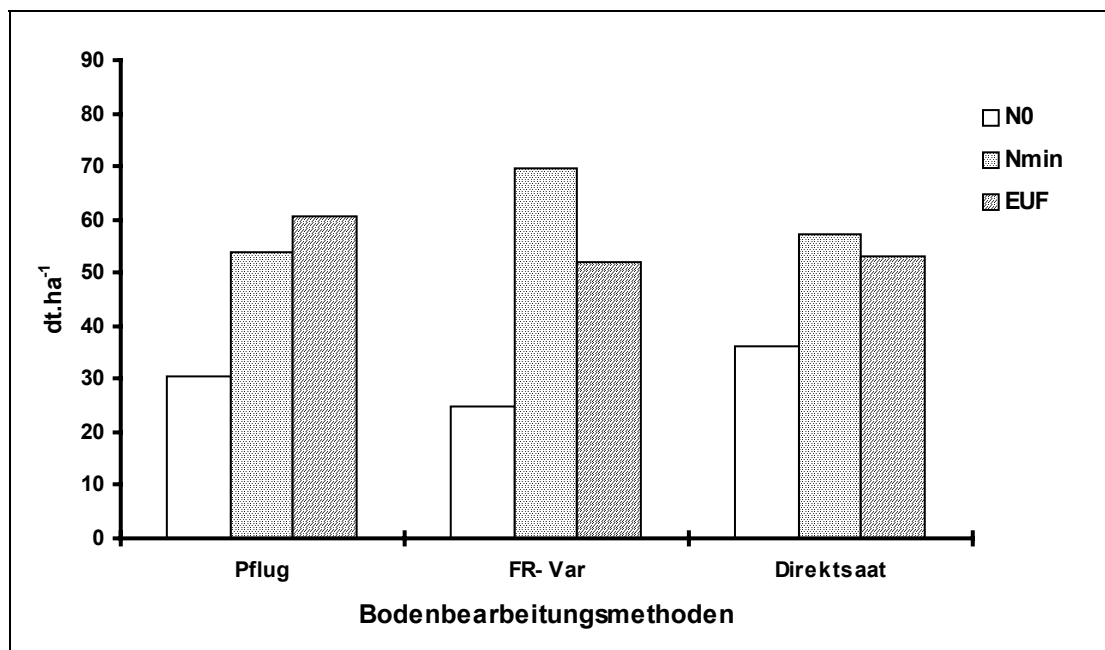


Abb. 44: Stroherträge des Winterweizens (dt/ha) bei unterschiedlicher Düngung und Bodenbearbeitung (Mittelwerte von je vier Wiederholungen)

Standort: Wernborn Versuchsjahr 1990/91

N0: ohne N-Düngung N1: Nmin-Methode N2: Gi-Modell (EUF)

Vergleich der Bodenbearbeitungsmethoden: $GD(5\%) = 14,69$ $P = FR = D$

Vergleich der Stickstoffdüngungsvarianten: $GD(5\%) = 9,41$ $N1 = N2 > N0$

(P): $GD(5\%) = 20,37$; (FR): $GD(5\%) = 15,24$; (D): $GD(5\%) = 16,67$;

$N1 = N2 > N0$

$N1 > N2 > N0$

$N1 = N2 > N0$

3.4.2.2.3. Rohproteingehalt im Korn

In den Kontrollvarianten (N0) schnitt die Direktsaat am besten ab, doch zwischen den Proteingehalten im Korn der unterschiedlichen Bodenbearbeitungsverfahren bestand kein signifikanter Unterschied (Tab. 50).

Der Proteingehalt war signifikant niedriger in den ungedüngten Varianten als in den gedüngten. Unter Pflugbearbeitung war bei der Nmin- und bei der EUF-Düngung (Gießener Modell) der höchste Proteingehalt im Korn vorhanden (Tab. 50). Die N-Düngung nach der Nmin-Methode führte in allen drei Bodenbearbeitungsvarianten zu einem signifikant höheren Proteingehalt im Korn als die Düngung nach dem Gießener Modell.

Im Durchschnitt bestand kein signifikanter Unterschied zwischen den Proteingehalten im Korn bei unterschiedlicher Bodenbearbeitung.

Tab. 50: Vergleich der Rohproteingehalte im Korn der Winterweizen (% TM) bei unterschiedlicher Düngung und Bodenbearbeitung (Mittelwerte von 4 Wiederholungen)

Standort: Wernborn Versuchsjahr: 1990/91

| | N0 (ohne N-Düngung) | N1 (Nmin-Methode) | N2 (Gi-Modell) | Durchschnitt |
|---------------------|--------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|---------------------|
| Pflug | 9,63 | 15,52 | 13,23 | 12,79 |
| FR-Variante | 9,35 | 14,88 | 12,13 | 12,12 |
| Direktsaat | 10,50 | 14,90 | 12,90 | 12,77 |
| Durchschnitt | 9,83 | 15,10 | 12,75 | |

Vergleich der Bodenbearbeitungsmethoden: GD(5%) = 1,95; P = FR = D

Vergleich der Stickstoffdüngungsvarianten: GD(5%) = 0,59; N1 > N2 > N0

(P): GD(5%) = 1,05; N1 > N2 > N0

(FR): GD(5%) = 0,59; N1 > N2 > N0

(D): GD(5%) = 1,23; N1 > N2 > N0

3.4.2.2.4. Rohproteingehalt im Stroh

In der Kontrolle (N0) wurde der höchste Proteingehalt im Stroh in der Pflug- und der niedrigste in der Direktsaatvariante festgestellt. Dieser Unterschied war nicht signifikant (Tab. 51).

Tab. 51: Vergleich der Rohproteingehalte im Stroh des Winterweizen (% TM) bei unterschiedlicher Düngung und Bodenbearbeitung (Mittelwerte von 4 Wiederholungen)

Standort: Wernborn Versuchsjahr: 1990/91

| | N0 (ohne N-Düngung) | N1 (Nmin-Methode) | N2 (Gi-Modell) | Durchschnitt |
|---------------------|--------------------------------|------------------------------|---------------------------|---------------------|
| Pflug | 2,40 | 3,13 | 2,50 | 2,68 |
| FR-Variante | 2,22 | 2,50 | 2,10 | 2,27 |
| Direktsaat | 1,83 | 3,42 | 2,43 | 2,56 |
| Durchschnitt | 2,15 | 3,02 | 2,34 | |

Vergleich der Bodenbearbeitungsmethoden: GD(5%) = 0,48; P = FR = D

Vergleich der Stickstoffdüngungsvarianten: GD(5%) = 0,39; N1 > N2 = N0

(P): GD(5%) = 0,53; N1 > N2 = N0

(FR): GD(5%) = 0,82; N1 = N2 = N0

(D): GD(5%) = 0,56; N1 > N2 > N0

Die Nmin-Düngung führte im Durchschnitt zu einem signifikant höheren Proteingehalt im Stroh im Vergleich zur Kontrolle. Das Gießener Modell hingegen war der Kontrollvariante statistisch gleich. Der höchste Proteingehalt nach Nmin-Düngung lag in der Direktsaat- und der geringste in der FR-Variante vor. Beim Gießener Modell waren die Gehalte in der Pflug- und in der Direktsaatvariante gleich, und beide waren höher als in der FR-Variante. Die Nmin-Düngeempfehlung in der Pflug- und der Direktsaatvariante brachte eine signifikante Erhöhung des Proteingehalts im Stroh im Vergleich zur EUF-Methode. Der Unterschied war in der FR-Variante nicht signifikant. Die Bodenbearbeitungsmethoden waren ebenbürtig.

3.4.2.3. Standort Bruchköbel (Körnermais)

Nach der Nmin-Methode wurde mehr Düngestickstoff zum Körnermais empfohlen als nach dem Gießener Modell; die Bodenbearbeitungsvarianten bekamen gleiche Düngermengen. Mit dem Gießener Modell wurde bei Pflugbearbeitung am wenigsten Stickstoff gedüngt (Tab. 52).

Tab. 52: Stickstoffdüngergaben (kg N/ha) bei unterschiedlicher Bodenbearbeitung

Standort: Bruchköbel Versuchsjahr: 1990/91

| | N1 (Nmin-Methode) | N2 (Gi-Modell) |
|---------------------|--------------------------|-----------------------|
| Pflug | 155 | 110 |
| FR-Variante | 155 | 135 |
| Direktsaat | 155 | 120 |
| Durchschnitt | 155 | 122 |

3.4.2.3.1. Kornertrag

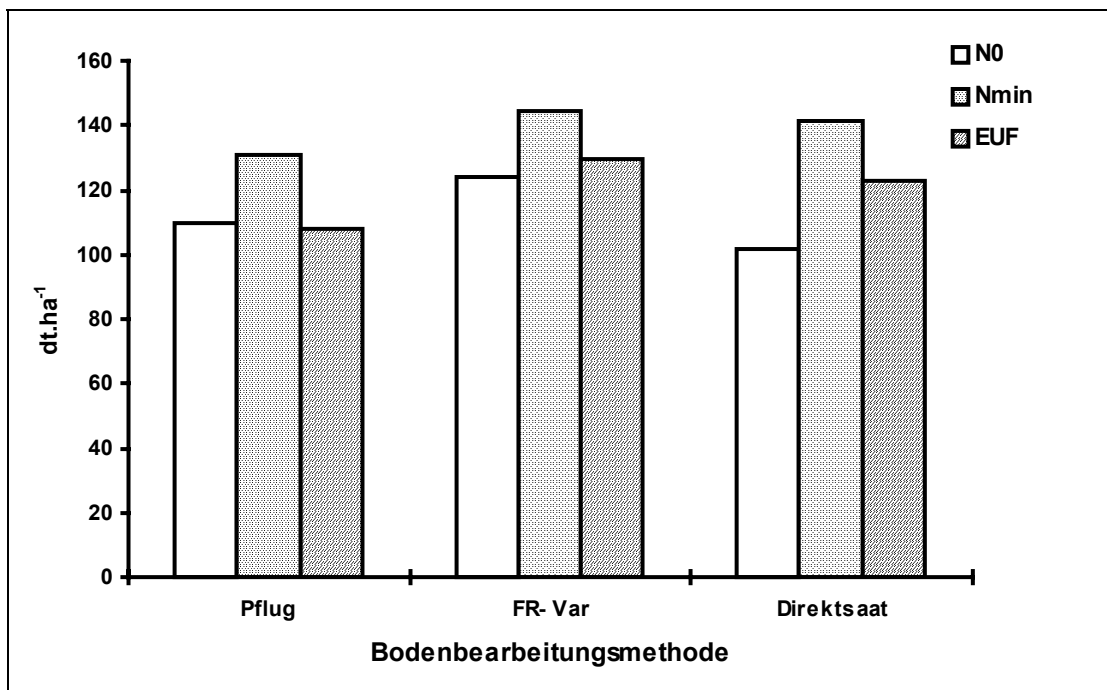


Abb. 45: Kornerträge des Körnermaises (dt/ha) bei unterschiedlicher Düngung und Bodenbearbeitung (Mittelwerte von je vier Wiederholungen)

Standort: Bruchköbel Versuchsjahr 1990/91

N0: ohne N-Düngung N1: Nmin-Methode N2: Gi-Modell (EUF)

Vergleich der Bodenbearbeitungsmethoden: GD(5%) = 17,21 P = FR = D

Vergleich der Stickstoffdüngungsvarianten: GD(5%) = 15,31 N1 > N2 = N0, N1 = N0

(P): GD(5%) = 35,43; (FR): GD(5%) = 24,66; (D): GD(5%) = 25,31;

N0 = N1 = N2

N0 = N1 = N2

N1 > N0 = N2, N1 = N2

In der Kontrolle (N0) war der Kornertrag der FR-Variante nicht signifikant höher als der der Pflugvariante, aber signifikant höher als bei Direktsaat. Der Kornertrag von Mais wurde von der N-Düngung positiv beeinflusst. Eine Ausnahme stellte die EUF-Düngung bei Pflugbearbeitung dar, die einen geringeren Ertrag erbrachte als die Kontrolle (Abb. 45). Die Nmin-Düngeempfehlung war in allen drei Bodenbearbeitungsvarianten der EUF-Methode überlegen; der Unterschied zwischen den beiden Verfahren war jedoch nicht signifikant. Die Nmin- und die EUF-Düngung erzielten ihren höchsten Ertrag in der FR- und ihren niedrigsten in der Pflugvariante. Im Durchschnitt waren die Kornerträge bei allen drei Bodenbearbeitungsvarianten statistisch gleich.

Tab. 53: Agronomische Effizienz der N-Düngung (kg Korn/kg N)

Standort: Bruchköbel Versuchsjahr: 1990/91 Fruchart: Körnermais

| | Nmin-Methode | Gi-Modell |
|-----------------------|---------------------|------------------|
| Pflug (P) | 13,56 | 0,00 |
| Grubber (FR) | 13,45 | 4,11 |
| Direktsaat (D) | 25,45 | 17,35 |

Auf dem Standort Bruchköbel war die Effizienz der Nmin-Düngung zu Körnermais bei allen Bodenbearbeitungsvarianten höher als die des Gießener Modells. Die höchste Effizienz beider Düngeempfehlungsmethoden stand in der Direktsaatvariante fest (Tab. 53).

3.4.2.3.2. Strohertrag

Beim Vergleich der ungedüngten Varianten fiel auf, daß die FR-Variante einen nicht signifikant höheren Strohertrag erbrachte als die Pflugvariante und einen signifikant höheren als die Direktsaat (Abb. 46). Die Düngung nach der Nmin-Methode führte zu einem signifikanten Mehrertrag gegenüber der Kontrolle, was für die Düngung nach dem Gießener Modell nicht zutraf. Der Unterschied zwischen beiden Düngeempfehlungsmethoden war jedoch nicht signifikant. Beide erreichten ihren höchsten Strohertrag in der FR-Variante. Bei Pflugbearbeitung und in der Direktsaat lagen die Nmin- und die EUF-Methode niedrig und waren fast gleich.

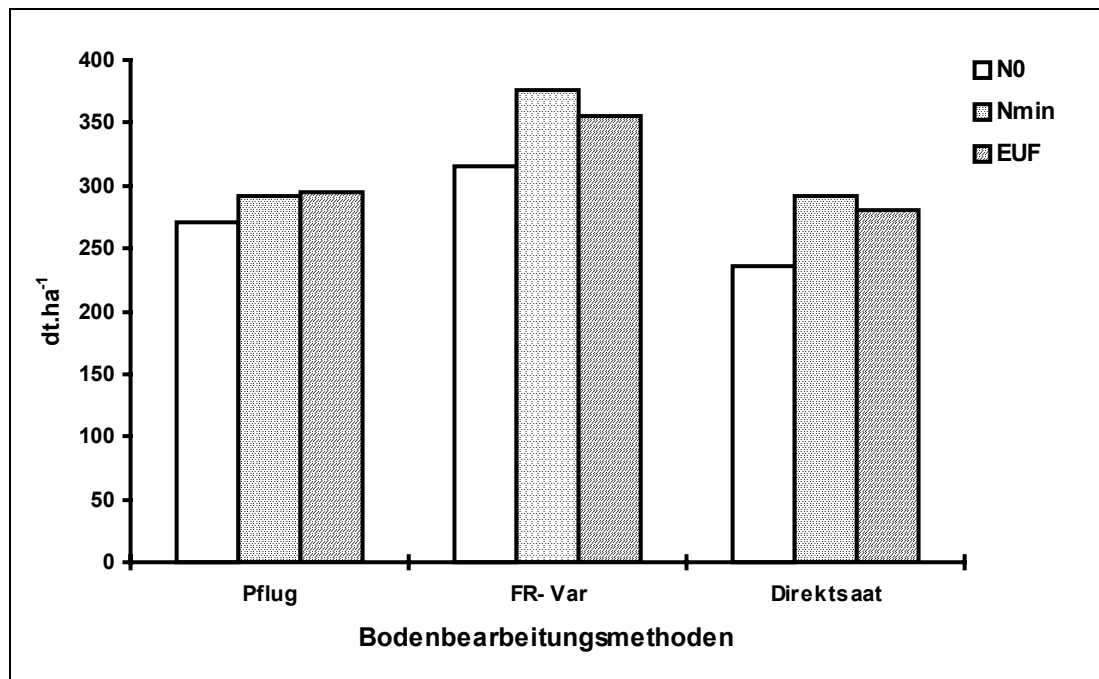


Abb. 46: Stroherträge des Körnermaises (dt/ha) bei unterschiedlicher Düngung und Bodenbearbeitung (Mittelwerte von je vier Wiederholungen)

Standort: Bruchköbel Versuchsjahr 1990/91

N0: ohne N-Düngung N1: Nmin-Methode N2: Gi-Modell (EUF)

Vergleich der Bodenbearbeitungsmethoden: GD(5%) = 34,83 FR > P = D

Vergleich der Stickstoffdüngungsvarianten: GD(5%) = 42,54 N1 > N0 = N2, N1 = N2

(P): GD(5%) = 78,42; (FR): GD(5%) = 46,27; (D): GD(5%) = 59,75;

N1 = N0 = N2,

N1 > N0 = N2

N1 = N0 = N2

N1 = N2

Im Durchschnitt erbrachte die FR-Variante signifikant mehr Strohertrag als die Pflug- und die Direktsaatvariante. Die beiden letzteren erbrachten gleiche Erträge.

3.4.2.3.3. Rohproteingehalt im Stroh

Ohne Stickstoffdüngung wurde in der Direktsaat- der höchste und in der FR-Variante der niedrigste Proteingehalt im Stroh des Körnermaises ermittelt, wobei dieser Unterschied schwach signifikant war (Tab. 54).

Tab. 54: Vergleich der Rohproteingehalte im Stroh vom Körnermaises (% TM) bei unterschiedlicher Düngung und Bodenbearbeitung (Mittelwerte von 4 Wiederholungen)

Standort: Bruchköbel Versuchsjahr: 1990/91

| | N0 (ohne N-Düngung) | N1 (Nmin-Methode) | N2 (Gi-Modell) | Durchschnitt |
|---------------------|--------------------------------|------------------------------|---------------------------|---------------------|
| Pflug | 7,87 | 9,15 | 9,40 | 8,81 |
| FR-Variante | 6,78 | 9,86 | 9,76 | 8,80 |
| Direktsaat | 9,30 | 10,65 | 9,23 | 9,73 |
| Durchschnitt | 7,98 | 9,89 | 9,46 | |

Vergleich der Bodenbearbeitungsmethoden: GD(5%) = 1,28; P = FR = D

Vergleich der Stickstoffdüngungsvarianten: GD(5%) = 1,13; N1 = N2 > N0

(P): GD(5%) = 2,27; N1 = N2 = N0

(FR): GD(5%) = 2,20; N1 = N2 > N0

(D): GD(5%) = 1,57; N1 = N2 = N0

Der Proteingehalt im Stroh war von der Stickstoffdüngung bestimmt. Der Proteingehalt im Stroh der ungedüngten Varianten war im Durchschnitt signifikant niedriger als in den gedüngten. Mit der Nmin-Düngeempfehlung wurde unter Direktsaat am meisten und in der Pflugvariante am wenigsten Protein im Stroh gebildet. Bei der EUF-Methode war der Proteingehalt im Stroh der FR-Variante minimal höher als der der Pflug- und der Direktsaatvariante. Die Düngeempfehlungsverfahren (EUF- und Nmin-Methode) waren statistisch ebenbürtig. Im Durchschnitt war der Proteingehalt im Stroh bei unterschiedlicher Bodenbearbeitung identisch.

3.4.3. Versuchsjahr 1991/92

3.4.3.1. Standort Gießen (Winterweizen)

Die gedüngte N-Menge war nach dem Gießener Modell höher als nach der Nmin-Methode. Mit dem Gießener Modell wurde bei Direktsaat am wenigsten Stickstoff gedüngt (Tab. 55).

Tab. 55: Stickstoffdüngergaben (kg N/ha) bei unterschiedlicher Bodenbearbeitung

Standort: Gießen Versuchsjahr: 1991/92

| | N1 (Nmin-Methode) | N2 (Gi-Modell) |
|---------------------|--------------------------|-----------------------|
| Pflug | 100 | 147 |
| FR-Variante | 110 | 145 |
| Direktsaat | 100 | 126 |
| Durchschnitt | 103 | 139 |

3.4.3.1.1. Kornertrag

Ohne Stickstoffdüngung wurde mit der Direktsaat der höchste und mit der FR-Bearbeitung der niedrigste Ertrag erzielt (Abb. 47). Die Ertragsunterschiede waren nicht signifikant. Die

Kornerträge waren sowohl mit als auch ohne Stickstoffdüngung relativ hoch. Weder die unterschiedlichen Düngungsniveaus noch die verschiedenen Bodenbearbeitungsvarianten brachten signifikante Ertragsunterschiede.

Die N-Düngung nach der Nmin-Methode war in allen drei Bodenbearbeitungsvarianten erfolgreicher als das Gießener Modell (Abb. 47). Die niedrigsten Erträge der EUF- und der Nmin-Variante lagen in der Pflugvariante vor. Der höchste Ertrag der Nmin-Methode wurde in der Direktsaat- und der des Gießener Modells in der FR-Variante erzielt.

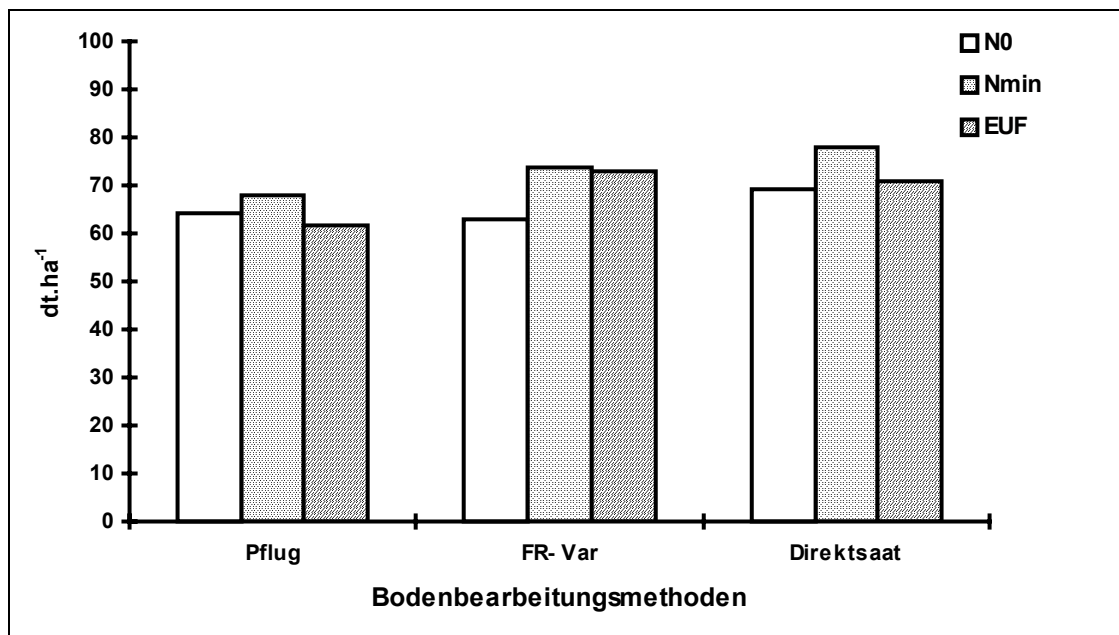


Abb. 47: Kornerträge des Winterweizens (dt/ha) bei unterschiedlicher Düngung und Bodenbearbeitung (Mittelwerte von je vier Wiederholungen)

Standort: Gießen

Versuchsjahr 1991/92

N0: ohne N-Düngung N1: Nmin-Methode N2: Gi-Modell (EUF)

Vergleich der Bodenbearbeitungsmethoden: $GD(5\%) = 7,92$ $P = FR = D$

Vergleich der Stickstoffdüngungsvarianten: $GD(5\%) = 7,93$ $N0 = N1 = N2$

(P): $GD(5\%) = 12,20$; (FR): $GD(5\%) = 14,17$; (D): $GD(5\%) = 18,61$;

$N0 = N1 = N2$

$N0 = N1 = N2$

$N0 = N1 = N2$

Die Effizienz der Nmin-Düngung war bei allen Bodenbearbeitungsvarianten höher als die der Düngung nach dem Gießener Modell. Die niedrigste Effizienz beider Düngeempfehlungsmethoden lag bei Pflugbearbeitung vor (Tab. 56).

Tab. 56: Agronomische Effizienz der N-Düngung (kg Korn/kg N)

Standort: Gießen Versuchsjahr: 1991/92 Fruchtart: Winterweizen

| | Nmin-Methode | Gi-Modell |
|-----------------------|--------------|-----------|
| Pflug (P) | 4,00 | -,-- |
| Grubber (FR) | 9,95 | 6,81 |
| Direktsaat (D) | 8,79 | 1,35 |

3.4.3.1.2. Strohertrag

Weder in den gedüngten noch in den ungedüngten Varianten waren die Ertragsunterschiede zwischen den Bodenbearbeitungsverfahren signifikant (Abb. 48). Durchschnittlich wurde anhand der Nmin-Methode ein signifikant höherer Strohertrag ermittelt als mit dem Gießener Modell und als in der Kontrollvariante, die beide einen identischen Strohertrag erbrachten. Die Erträge des Gießener Modells lagen in der FR- und der Direktsaatvariante knapp über den Kontrollparzellen (N0) und bei Pflugbearbeitung sogar darunter. Der höchste Strohertrag der Nmin-Methode war in der Direktsaat- und der der EUF-Methode in der FR-Variante zu verzeichnen. Die niedrigsten Werte für beide Düngeempfehlungsmethoden lagen bei Pflugbearbeitung vor.

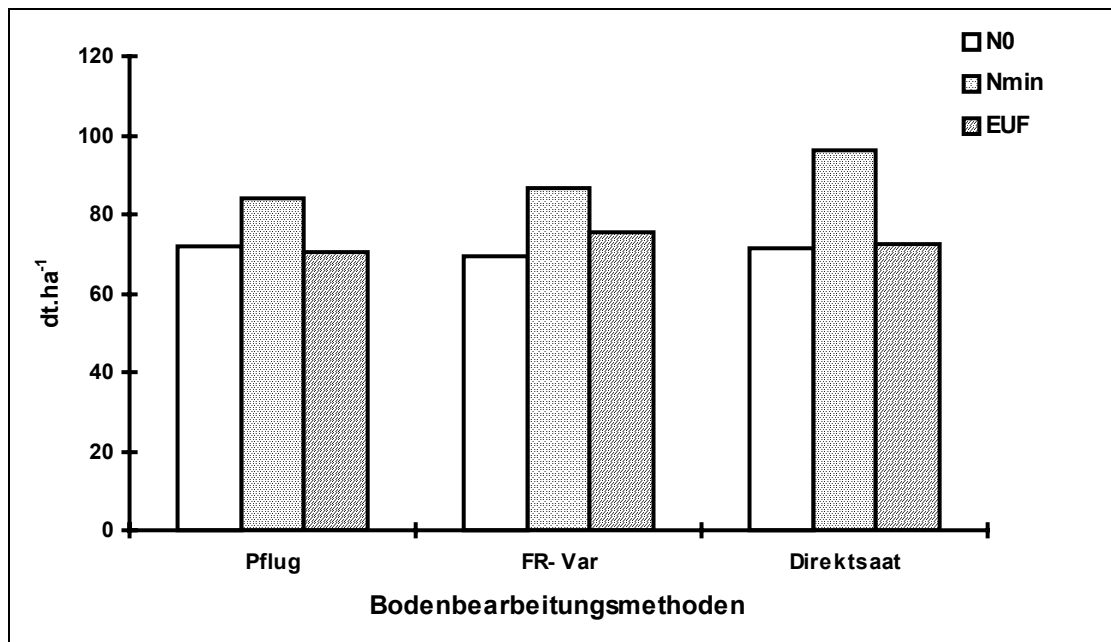


Abb. 48: Stroherträge des Winterweizen (dt/ha) bei unterschiedlicher Düngung und Bodenbearbeitung (Mittelwerte von je vier Wiederholungen)

Standort: Gießen Versuchsjahr 1991/92

N0: ohne N-Düngung N1: Nmin-Methode N2: Gi-Modell (EUF)

Vergleich der Bodenbearbeitungsmethoden: GD(5%) = 14,53 P = FR = D

Vergleich der Stickstoffdüngungsvarianten: GD(5%) = 12,80 N1 > N2 = N0

(P): GD(5%) = 25,98; (FR): GD(5%) = 27,64; (D): GD(5%) = 25,93;

N0 = N1 = N2

N0 = N1 = N2

N0 = N1 = N2

3.4.3.1.3. Rohproteingehalt im Korn

In den ungedüngten Varianten wurde ein signifikant niedrigerer Proteingehalt im Korn in der FR- im Vergleich zur Pflug- und zur Direktsaatvariante gemessen (Tab. 57). Die beiden letzteren unterschieden sich nicht voneinander. Der Proteingehalt wurde von der Düngung und von der Bodenbearbeitung beeinflusst.

Bei unterlassener Stickstoffdüngung wurde ein signifikant niedrigerer Proteingehalt im Korn gemessen als in den gedüngten Varianten. Mit der EUF-Düngeempfehlung wurde bei Pflugbearbeitung der höchste Proteingehalt und in der FR-Variante der niedrigste erreicht. Bei der Nmin-Methode waren hinsichtlich des Proteingehalts im Korn (Tab. 57) alle Bodenbearbeitungsvarianten gleich. In allen drei Bodenbearbeitungsvarianten unterschieden sich die beiden Düngeempfehlungskonzepte nicht signifikant voneinander. Bei pflugloser Bodenbearbeitung (FR- und Direktsaatvariante) brachte die Düngung nach der Nmin-Methode sowie nach dem Gießener Modell einen signifikant höheren Proteingehalt im Korn als die ungedüngte Variante. Bei Pflugbearbeitung war dies nur beim Gießener Modell der Fall.

Tab. 57: Vergleich der Rohproteingehalte im Korn des Winterweizen (% TM) bei unterschiedlicher Düngung und Bodenbearbeitung (Mittelwerte von 4 Wiederholungen)

Standort: Gießen Versuchsjahr: 1991/92

| | N0 (ohne N-Düngung) | N1 (Nmin-Methode) | N2 (Gi-Modell) | Durchschnitt |
|---------------------|--------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|---------------------|
| Pflug | 15,30 | 16,39 | 17,12 | 16,27 |
| FR-Variante | 13,31 | 16,34 | 16,02 | 15,22 |
| Direktsaat | 15,03 | 16,49 | 16,33 | 15,95 |
| Durchschnitt | 14,55 | 16,41 | 16,49 | |

Vergleich der Bodenbearbeitungsmethoden: GD(5%) = 1,01; P > FR = D, P = D

Vergleich der Stickstoffdüngungsvarianten: GD(5%) = 0,74; N1 = N2 > N0

(P): GD(5%) = 1,41; N2 > N0 = N1, N2 = N1

(FR): GD(5%) = 1,00; N1 = N2 > N0

(D): GD(5%) = 1,06; N1 = N2 > N0

Im Durchschnitt lag in der FR- im Vergleich zur Pflugvariante ein niedrigerer Proteingehalt im Korn vor. Die Direktsaatvariante war beiden erstgenannten statistisch gleich.

3.4.3.1.4. Rohproteingehalt im Stroh

Vergleicht man die Kontrollvarianten (N0), so stellt man den niedrigsten Proteingehalt im Stroh der FR-Variante und den höchsten im Stroh der Direktsaat fest. Dieser Unterschied war signifikant (Tab. 58). Der Proteingehalt im Stroh hing mit der N-Düngung und der Bodenbearbeitung zusammen. Beide Düngungsmethoden brachten einen signifikant höheren Proteingehalt im Stroh im Vergleich zur ungedüngten Variante. Die EUF- und die Nmin-Methode führten unter Direktsaat zu den höchsten und in der FR-Variante zu den niedrigsten Proteingehalten im Stroh.

Tab. 58: Vergleich der Rohproteingehalte im Stroh des Winterweizen (% TM) bei unterschiedlicher Düngung und Bodenbearbeitung (Mittelwerte von 4 Wiederholungen)

Standort: Gießen Versuchsjahr: 1991/92

| | N0 (ohne N-Düngung) | N1 (Nmin-Methode) | N2 (Gi-Modell) | Durchschnitt |
|---------------------|--------------------------------|------------------------------|---------------------------|---------------------|
| Pflug | 2,36 | 3,73 | 4,20 | 3,43 |
| FR-Variante | 2,22 | 3,25 | 4,52 | 3,33 |
| Direktsaat | 2,15 | 4,09 | 4,74 | 3,66 |
| Durchschnitt | 2,24 | 3,69 | 4,49 | |

Vergleich der Bodenbearbeitungsmethoden: **GD(5%) = 0,93; P = FR = D**

Vergleich der Stickstoffdüngungsvarianten: **GD(5%) = 0,49; N2 > N1 > N0**

(P): GD(5%) = 0,72; N2 = N1 > N0

(FR): GD(5%) = 0,79; N2 > N1 > N0

(D): GD(5%) = 1,22; N2 = N1 > N0

Mit der Nmin-Düngung war bei Pflugbearbeitung kein signifikanter Unterschied zur Kontrolle vorhanden. Unter den pfluglosen Verfahren (FR- und Direktsaatvariante) hingegen war der Unterschied signifikant (Tab. 58). Die Direktsaat- und die Pflugvariante waren bezüglich des Proteingehalts im Stroh der FR-Variante signifikant überlegen.

3.4.3.2. Standort Hassenhausen (Winterweizen)

Aus der Tabelle 59 ist ersichtlich, daß die zum Winterweizen empfohlene N-Düngermenge mit dem Gießener Modell höher war als mit der Nmin-Methode. Die FR-Variante stellte hiervon eine Ausnahme dar. Bei beiden Düngeempfehlungsverfahren wurde am wenigsten Stickstoff bei Direktsaat appliziert.

Tab. 59: Stickstoffdüngergaben (kg N/ha) bei unterschiedlicher Bodenbearbeitung

Standort: Hassenhausen Versuchsjahr: 1991/92

| | N1 (Nmin-Methode) | N2 (Gi-Modell) |
|---------------------|--------------------------|-----------------------|
| Pflug | 160 | 185 |
| FR-Variante | 180 | 180 |
| Direktsaat | 140 | 170 |
| Durchschnitt | 160 | 178 |

3.4.3.2.1. Kornertrag

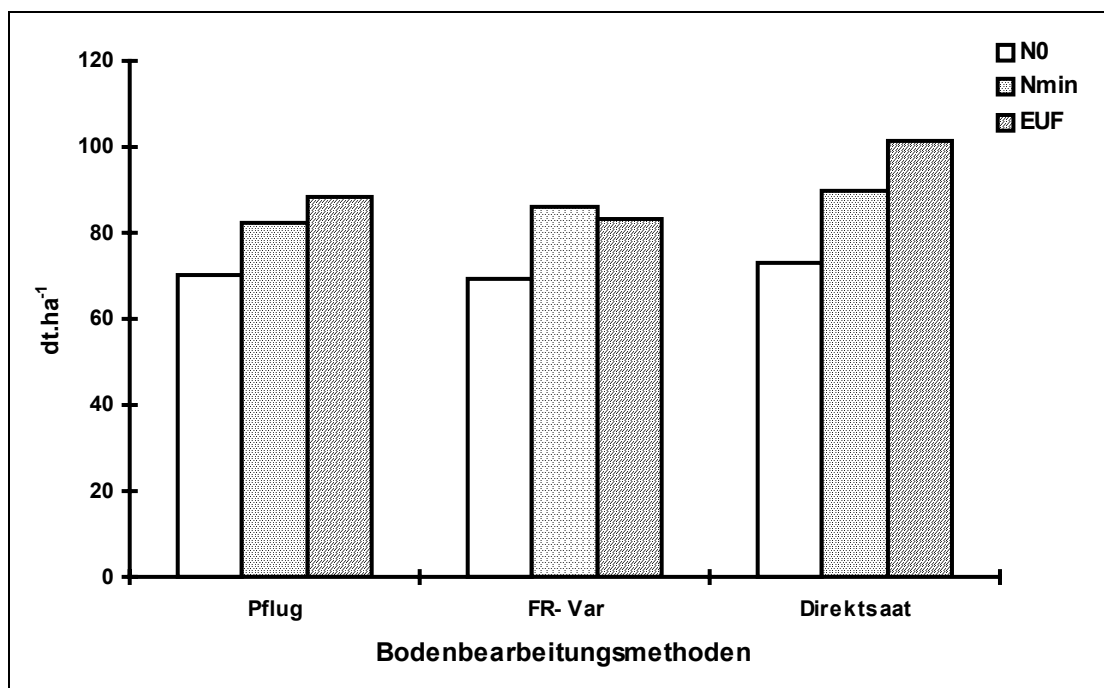


Abb. 49: Kornerträge des Winterweizens (dt/ha) bei unterschiedlicher Düngung und Bodenbearbeitung (Mittelwerte von je vier Wiederholungen)

Standort: Hassenhausen **Versuchsjahr:** 1991/92

N0: ohne N-Düngung **N1:** Nmin-Methode **N2:** Gi-Modell (EUF)

Vergleich der Bodenbearbeitungsmethoden: GD(5%) = 10,31 **P = FR = D**

Vergleich der Stickstoffdüngungsvarianten: GD(5%) = 7,77 **N1 = N2 > N0**

(P): GD(5%) = 10,00; **(FR):** GD(5%) = 16,67; **(D):** GD(5%) = 14,39;

N1 = N2 > N0

N1 = N2 > N0

N1 = N2 > N0

In der N0-Variante traten zwischen den Bearbeitungsverfahren keine signifikanten Unterschiede im Kornertrag auf (Abb. 49). Ohne Stickstoffdüngung wurde ein signifikant niedrigerer Kornertrag erzielt als in den gedüngten Varianten. Mit der Nmin-Methode lag in der Pflug- der niedrigste und in der Direktsaatvariante der höchste Ertrag vor. Auch das Gießener Modell brachte unter Direktsaat seine beste Ertragsleistung (Abb. 49), wobei es keinen signifikant höheren Ertrag im Vergleich zur Nmin-Methode erreichte. Im Durchschnitt war der Kornertrag bei unterschiedlicher Bodenbearbeitung gleich.

Tab. 60: Agronomische Effizienz der N-Düngung (kg Korn/kg N)

Standort: Hassenhausen **Versuchsjahr:** 1989/90 **Fruchtart:** Wintergerste

| | Nmin-Methode | Gi-Modell |
|-----------------------|--------------|-----------|
| Pflug (P) | 7,70 | 9,99 |
| Grubber (FR) | 9,39 | 7,87 |
| Direktsaat (D) | 12,18 | 16,80 |

Mit Ausnahme der FR-Variante war die Effizienz der Stickstoffdüngung nach dem Gießener Modell höher als nach der Nmin-Methode. Die höchste Effizienz beider Methoden wurden in der Direktsaatvariante ermittelt (Tab. 60).

3.4.3.2.2. Strohertrag

In der Kontrollvariante (N0) wurde unter Direktsaat ein niedrigerer Strohertrag festgestellt als bei Pflugbearbeitung und in der FR-Variante (Abb. 50). Es gab jedoch keinen signifikanten Unterschied zwischen den drei Bodenbearbeitungssystemen. Die Kontrollvariante erbrachte im Durchschnitt und in den einzelnen Bodenbearbeitungsvarianten einen signifikant niedrigeren Strohertrag als die mit Stickstoff gedüngten Varianten. Das Gießener Modell und die Nmin-Methode waren ebenbürtig. Sowohl die Nmin- als auch die EUF-Methode erreichten ihren Höchstertrag in der Direktsaat- und ihren niedrigsten Ertrag in der FR-Variante (Abb. 50).

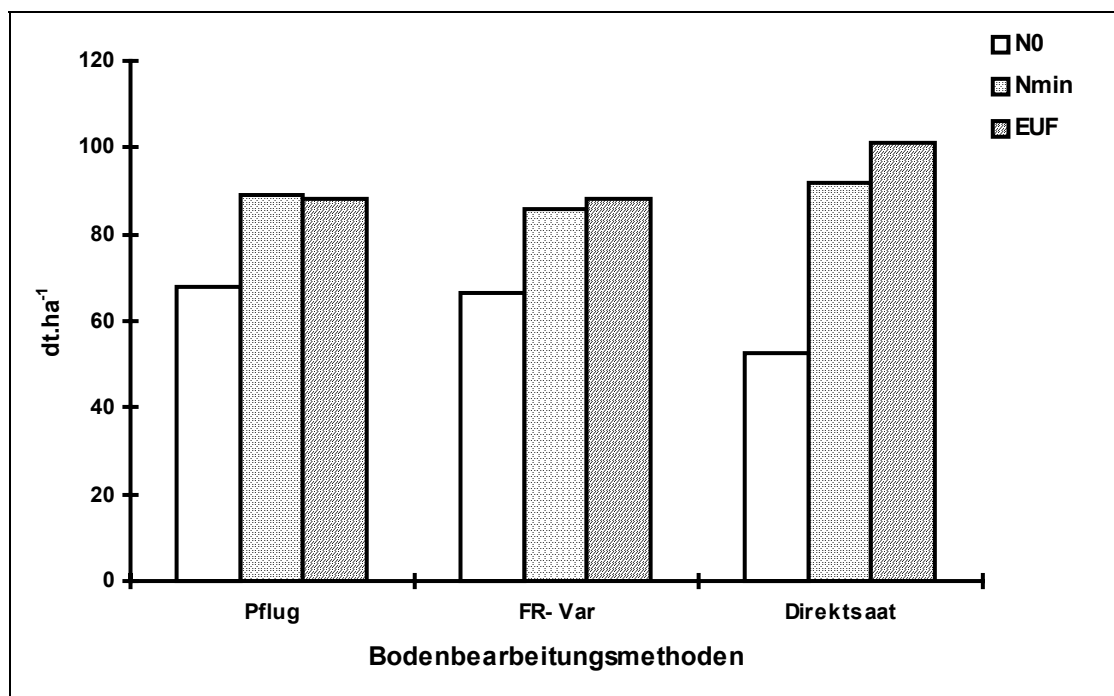


Abb. 50: Stroherträge des Winterweizens (dt/ha) bei unterschiedlicher Düngung und Bodenbearbeitung (Mittelwerte von je vier Wiederholungen)

Standort: Hassenhausen Versuchsjahr 1991/92

N0: ohne N-Düngung N1: Nmin-Methode N2: Gi-Modell (EUF)

Vergleich der Bodenbearbeitungsmethoden: GD(5%) = 14,55 P = FR = D

Vergleich der Stickstoffdüngungsvarianten: GD(5%) = 8,74 N1 = N2 > N0

(P): GD(5%) = 9,17; (FR): GD(5%) = 12,36; (D): GD(5%) = 22,36;

N1 = N2 > N0

N1 = N2 > N0

N1 = N2 > N0

Im Durchschnitt waren die Bodenbearbeitungsverfahren gleich.

3.4.3.2.3. Rohproteingehalt im Korn

In den ungedüngten Varianten (N0) bestand kein Unterschied (Tab. 61) zwischen den Bodenbearbeitungsverfahren. Durch die Stickstoffdüngung wurde der Proteingehalt im Korn im Vergleich zur Kontrollvariante signifikant erhöht. Das Gießener Modell brachte im

Durchschnitt einen signifikant höheren Proteingehalt im Korn als die Nmin-Methode. Bei Pflugbearbeitung erreichte das Gießener Modell den höchsten Proteingehalt. Die Nmin- und die EUF-Methode (Gießener Modell) brachten den niedrigsten Proteingehalt in der FR-Variante. Im Durchschnitt waren die Bodenbearbeitungsmethoden statistisch gleich.

Tab. 61: Vergleich der Rohproteingehalte im Korn des Winterweizen (% TM) bei unterschiedlicher Düngung und Bodenbearbeitung (Mittelwerte von 4 Wiederholungen)

Standort: Hassenhausen Versuchsjahr: 1991/92

| | N0 (ohne N-Düngung) | N1 (Nmin-Methode) | N2 (Gi-Modell) | Durchschnitt |
|---------------------|--------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|---------------------|
| Pflug | 13,41 | 16,61 | 17,81 | 15,94 |
| FR- Variante | 13,23 | 16,26 | 16,96 | 15,48 |
| Direktsaat | 13,51 | 16,79 | 17,61 | 15,97 |
| Durchschnitt | 13,38 | 16,55 | 17,46 | |

Vergleich der Bodenbearbeitungsmethoden: GD(5%) = 1,57; P = FR = D

Vergleich der Stickstoffdüngungsvarianten: GD(5%) = 0,45; N2 > N1 > N0

(P): GD(5%) = 0,56; N2 > N1 > N0

(FR): GD(5%) = 0,88; N2 = N1 > N0

(D): GD(5%) = 1,04; N2 = N1 > N0

3.4.3.2.4. Rohproteingehalt im Stroh

Ohne Stickstoffdüngung erbrachten alle drei Bodenbearbeitungsverfahren einen ausgeglichenen Proteingehalt im Stroh. Zur Erhöhung des Proteingehaltes im Stroh trug die N-Düngung bei.

Tab. 62: Vergleich der Rohproteingehalte im Stroh des Winterweizen (% TM) bei unterschiedlicher Düngung und Bodenbearbeitung (Mittelwerte von 4 Wiederholungen)

Standort: Hassenhausen Versuchsjahr: 1991/92

| | N0 (ohne N-Düngung) | N1 (Nmin-Methode) | N2 (Gi-Modell) | Durchschnitt |
|---------------------|--------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|---------------------|
| Pflug | 2,36 | 3,73 | 4,20 | 3,43 |
| FR-Variante | 2,22 | 3,25 | 4,52 | 3,33 |
| Direktsaat | 2,15 | 4,09 | 4,74 | 3,66 |
| Durchschnitt | 2,24 | 3,69 | 4,49 | |

Vergleich der Bodenbearbeitungsmethoden: GD(5%) = 0,93; P = FR = D

Vergleich der Stickstoffdüngungsvarianten: GD(5%) = 0,49; N2 > N1 > N0

(P): GD(5%) = 0,72; N2 = N1 > N0

(FR): GD(5%) = 0,79; N2 > N1 > N0

(D): GD(5%) = 1,22; N2 = N1 > N0

Der signifikant höchste Proteingehalt im Stroh wurde anhand des Gießener Modells erzielt. Beide Düngungsmethoden (EUF und Nmin) schnitten unter Direktsaat am besten ab (Tab. 62). In allen Bodenbearbeitungsvarianten führte die EUF-Düngeempfehlung zu höheren Proteingehalten im Stroh als die Nmin-Düngeempfehlung, doch lediglich in der FR-Variante war der Unterschied signifikant. In allen drei Bodenbearbeitungsvarianten wurde ohne

Stickstoffdüngung ein signifikant niedrigerer Proteingehalt im Stroh ermittelt als in den gedüngten Varianten.

3.4.3.3. Standort Ossenheim (Winterweizen)

Wegen bei der Durchführung betriebsüblicher Tätigkeiten unterlaufener Fehler konnte auf diesem Standort die Pflugvariante in die Untersuchungen nicht mit einbezogen werden. Die Düngungsversuche wurden deswegen auf die FR- und die Direktsaatvariante begrenzt. Indessen wurde nach der Nmin-Methode mehr Stickstoff gedüngt als nach dem Gießener Modell (Tab. 63).

Tab. 63: Stickstoffdüngergaben (kg N/ha) bei unterschiedlicher Bodenbearbeitung

Standort: Ossenheim Versuchsjahr: 1991/92

| | N1 (Nmin-Methode) | N2 (Gi-Modell) |
|---------------------|--------------------------|-----------------------|
| Pflug | nicht berücksichtigt | nicht berücksichtigt |
| FR-Variante | 180 | 160 |
| Direktsaat | 160 | 145 |
| Durchschnitt | 170 | 152 |

Die Direktsaatvariante bekam weniger Düngerstickstoff als die FR-Variante.

3.4.3.3.1. Kornertrag



Abb. 51: Kornerträge des Winterweizens (dt/ha) bei unterschiedlicher Düngung und Bodenbearbeitung (Mittelwerte von je vier Wiederholungen)

Standort: Ossenheim Versuchsjahr 1991/92

N0: ohne N-Düngung N1: Nmin-Methode N2: Gi-Modell (EUF)

Vergleich der Bodenbearbeitungsmethoden: FR = D ($p > 5\%$)

Vergleich der Stickstoffdüngungsvarianten: GD(5%) = 7,70 N1 = N2 > N0

(FR): GD(5%) = 10,16; (D): GD(5%) = 8,16;

N1 = N2 > N0

N1 = N2 > N0

In den N0-Varianten wurde kein signifikanter Ertragsunterschied zwischen der Direktsaat und der FR-Variante festgestellt. Im Durchschnitt und im Vergleich einzelner Bodenbearbeitungsmethoden war der Kornertrag ohne Stickstoffdüngung signifikant niedriger als in den gedüngten Varianten (Abb. 51).

Statistisch waren beide Düngempfehlungskonzepte ebenbürtig. Sowohl die Düngung nach der Nmin-Methode als auch nach dem Gießener Modell schnitten unter Direktsaat besser ab als in der FR-Variante. Die Bodenbearbeitungsverfahren waren ebenwertig.

Tab. 64: Agronomische Effizienz der N-Düngung (kg Korn/kg N)

Standort: Ossenheim Versuchsjahr: 1991/92 Fruchtart: Winterweizen

| | Nmin-Methode | Gi-Modell |
|----------------|--------------|-----------|
| Grubber (FR) | 7,32 | 11,32 |
| Direktsaat (D) | 12,74 | 10,58 |

In der FR-Variante war die Effizienz des Gießener Modells höher und in der Direktsaatvariante niedriger als die der Nmin-Methode (Tab. 64). Im Durchschnitt waren beide Methoden ebenbürtig.

3.4.3.3.2. Strohertrag



Abb. 52: Stroherträge des Winterweizens (dt/ha) bei unterschiedlicher Düngung und Bodenbearbeitung (Mittelwerte von je vier Wiederholungen)

Standort: Ossenheim Versuchsjahr 1991/92

N0: ohne N-Düngung N1: Nmin-Methode N2: Gi-Modell (EUF)

Vergleich der Bodenbearbeitungsmethoden: FR = D ($p > 5\%$)

Vergleich der Stickstoffdüngungsvarianten: GD(5%) = 26,92 N1 = N2 > N0
(FR): GD(5%) = 38,14; (D): GD(5%) = 28,96;
N2 > N0 = N1 N1 = N2 > N0
N2 = N1

In den Kontrollvarianten bestanden zwischen Direktsaat und FR-Bearbeitung (Abb. 52) keine signifikanten Ertragsunterschiede. In den gedüngten Varianten wurde durchschnittlich signifikant mehr Stroh produziert als in den ungedüngten; allerdings führte die Nmin-Düngung in der FR-Variante zu keinem signifikanten Unterschied gegenüber der Kontrollvariante. Beide Düngungskonzepte lieferten ihren höchsten Strohertrag in der Direktsaatvariante, der sich statistisch nicht von dem der FR-Variante unterschied.

3.4.3.3.3. Rohproteingehalt im Korn

Bei allgemeiner wie auch bei einzelner Betrachtung der Bodenbearbeitungsmethoden brachten die gedüngten Varianten einen signifikant höheren Proteingehalt im Korn als die Kontrollvariante (N0). Die Düngeempfehlungsmethoden und die zwei Bodenbearbeitungsverfahren waren ebenbürtig (Tab. 65).

Tab. 65: Vergleich der Rohproteingehalte im Korn des Winterweizen (% TM) bei unterschiedlicher Düngung und Bodenbearbeitung (Mittelwerte von 4 Wiederholungen)

Standort: Ossenheim Versuchsjahr: 1991/92

| | N0 (ohne N-Düngung) | N1 (Nmin-Methode) | N2 (Gi-Modell) | Durchschnitt |
|---------------------|--------------------------------|------------------------------|---------------------------|---------------------|
| FR-Variante | 14,86 | 17,15 | 16,60 | 16,20 |
| Direktsaat | 15,74 | 18,18 | 18,02 | 17,31 |
| Durchschnitt | 15,30 | 17,66 | 17,31 | |

Vergleich der Bodenbearbeitungsmethoden: FR = D ($p > 5\%$)

Vergleich der Stickstoffdüngungsvarianten: GD(5%) = 0,95; N1 = N2 > N0

(FR): GD(5%) = 1,46; N1 = N2 > N0

(D): GD(5%) = 0,84; N1 = N2 > N0

In den ungedüngten Varianten wurde ein nicht signifikant höherer Proteingehalt in der Direktsaat- gegenüber der FR-Variante gemessen (Tab. 65). Unter Direktsaat führten beide N-Düngungsverfahren (EUF- und Nmin-Methode) zu einem höheren Proteingehalt als in der FR-Variante.

3.4.3.3.4. Rohproteingehalt im Stroh

In der Kontrollvariante (N0) war die Tendenz erkennbar (Tab. 66), daß unter Direktsaat ein nicht signifikant höherer Proteingehalt im Stroh vorlag als in der FR-Variante. Die Nmin- und die EUF-Düngung (Gießener Modell) brachten gleiche Proteingehalte im Stroh und waren der Kontrollvariante (N0) signifikant überlegen.

Tab. 66: Vergleich der Rohproteingehalte im Stroh des Winterweizens (% TM) bei unterschiedlicher Düngung und Bodenbearbeitung (Mittelwerte von 4 Wiederholungen)

Standort: Ossenheim Versuchsjahr: 1991/92

| | N0 (ohne N-Düngung) | N1 (Nmin-Methode) | N2 (Gi-Modell) | Durchschnitt |
|---------------------|--------------------------------|------------------------------|---------------------------|---------------------|
| FR-Variante | 2,47 | 3,22 | 3,05 | 2,91 |
| Direktsaat | 2,64 | 4,01 | 3,57 | 3,41 |
| Durchschnitt | 2,55 | 3,61 | 3,31 | |

Vergleich der Bodenbearbeitungsmethoden: FR = D (p > 5%)

Vergleich der Stickstoffdüngungsvarianten: GD(5%) = 0,64; N1 = N2 > N0

(FR): GD(5%) = 1,07; N1 = N2 = N0

(D): GD(5%) = 0,78; N1 = N2 > N0

In beiden Düngeempfehlungsvarianten (Nmin und EUF) wurden in der Direktsaat höhere Werte gemessen als in der FR-Variante. Beide Düngungsmethoden waren in der FR-Variante ebenbürtig und in der Direktsaat signifikant besser als die Kontrolle. Die FR- und die Direktsaatvariante waren statistisch gleich.

4. Diskussion

4.1. Einfluß des Bodenbearbeitungssystems auf die Stickstoffdynamik

In der Diskussion um die Brauchbarkeit und die Praktikierbarkeit verschiedener Bodenbearbeitungskonzepte spielt die Erhaltung bzw. die Erhöhung der Bodenfruchtbarkeit die zentrale Rolle. Da die Bodenfruchtbarkeit die Wechselwirkung vieler Faktoren darstellt, kann sie durch bewußte Unterstützung oder Begrenzung mancher Faktoren verbessert oder verschlechtert werden. Zu den von der Bodenbearbeitung steuerbaren Parametern zählen u.a. die Bodenporosität, die Aggregatsstabilität, der Humus- und der Nährstoffhaushalt und die mikrobielle Aktivität. Laut Rattan (1989) ist die beste Bodenbearbeitung diejenige, durch die eine vorteilhafte Porosität für die Wasser- und die Luftbewegung sowie für das Wachstum und die Entwicklung der Wurzeln entsteht oder erhalten bleibt.

Bei langjährig nicht bearbeiteten Böden stellten Baeumer und Bakermans (1973) eine erhöhte Homogenität der Mikroporen fest. Sie warnten aber vor einer möglichen Verhinderung der Belüftung in nassen schweren Böden bei der Direktsaat. Auch beim nassen Pflügen entstehen ungünstige Bodenverhältnisse. In Lößböden stellten Maidl und Fischbeck (1987) eine Verminderung der luftführenden Poren, der Luftdurchlässigkeit und der Sauerstoffkonzentration in der Bodenluft fest. Edwards et al. (1988) und Kohl (1989) wiesen auf eine bessere Kontinuität der Poren in der Direktsaat- im Vergleich zur Pflugvariante hin. Unter Direktsaat fand Ehlers (1975) doppelt so viele und so große Regenwurmkanäle wie bei Pflugbearbeitung. Hartge (1991) führte die Verminderung des luftführenden Porenanteils im gepflügten Boden auf die Bodenkompromierung und die Tieferverlegung der Bodenoberfläche zurück. Seinen Untersuchungen nach sind die Bodenbearbeitungs- und andere Befahrungsvorgänge für die Verdichtung verantwortlich. Die Krumenvertiefung durch die Zunahme der Zugkraft, so Schönberger und Wiese (1991), verringert die Gefügestabilität. Fiedler (1990) schätzt, daß die verschlechterte Gefügestabilität der Ackerböden zu 40 bis 80 % auf den Druck von Traktorrädern zurückgeht.

Zwischen der Bodenbearbeitung und dem Wasserhaushalt bestehen Zusammenhänge. Hier spielt die Veränderung des Porenvolumens eine zentrale Rolle. Unter verschiedenen Bodenbearbeitungskonzepten ändert sich die Wasserspeicherkapazität des Bodens und somit seine Fähigkeit Wasser zu speichern. Dieser Tatbestand kann unter Umständen die Auswaschungsneigung und das Wasser-Luft-Verhältnis weitgehend beeinflussen. Blevins (1984) empfiehlt die Direktsaat auf Böden, die eine gewisse Neigung zum Austrocknen zeigen. Seinen Standpunkt, wonach die bei der Direktsaat verbleibenden Pflanzenreste die Bodenfeuchte erhöhen, teilen Baeumer und Bakermans (1973), Ehlers (1973) Phillips (1984) und Blevins et al. (1984).

Dennoch darf die mögliche negative Auswirkung des Bodenwassers bei Übernässung in den unter Direktsaat stehenden Böden nicht außer acht gelassen werden. Laut Mengel (1991) wird bei stauender Nässe und O₂-Mangel das Nitrat von fakultativen anaeroben Bakterien zu gasförmigem N₂O und N₂ reduziert. Arah et al. (1991) machen die N₂O-Konzentration nicht nur von der Nitratdüngung und dem Bodentyp abhängig, sondern auch von der

Bodenbearbeitung. In schweren Böden können durch den erhöhten Wassergehalt anaerobe Bedingungen entstehen. Doran (1980) sowie Linn und Doran (1984) stellten größere Populationen von anaeroben Mikroorganismen bei Direktsaat im Vergleich zum Pflug fest. Hütsch und Mengel (1991) wies auf die erhöhten Denitrifikationsverluste unter Direktsaat hin. Durch das Belassen von Maisresten auf dem Feld stellten Doran (1980) die 40fache Menge an Denitrifikanten im Vergleich zur Kontrolle fest. Aulakh et al. (1984) wiesen dem Strohrest auf dem Feld (z. B. unter Direktsaat) die Rolle einer Energiequelle zu. Die Folge ist eine erhöhte Nitratreduktaseaktivität unter nichtwendenden Bodenbearbeitungssystemen. Ferner beobachteten Aulakh et al. (1984) auf feuchten und ungepflügten Standorten sechsmal mehr Denitrifikanten als in gepflügten. So minimal auch der durch die Denitrifikation verursachte Stickstoffverlust sein mag (Groffman et al., 1987), er schlägt sich negativ in der N-Bilanz des Bodens nieder.

Die Stickstoffkonzentration des Bodens hängt sowohl mit dem Humusgehalt als auch mit dem organischen Bestandteil (Pflanzenreste, organische Dünger) zusammen. Der Gehalt und die Verteilung des organischen Materials im Bodenprofil wird von der angewandten Bodenbearbeitungsmethode erheblich beeinflusst. Die höchste Konzentration an organischer Substanz liegt in der oberen Schicht der Direktsaat bzw. des ungepflügten Bodens vor (Dick, 1983; Paul, 1984; Granatstein et al., 1987; Stanley et al., 1988; Grocholl et al., 1989; Grocholl und Ahrens, 1990a; Böhm und Ahrens, 1990 und Unger, 1991).

Diese Erhöhung der Substratmenge begünstigt die mikrobielle Aktivität in der oberen Schicht des reduziert bearbeiteten bzw. unbearbeiteten Bodens im Vergleich zum gepflügten (Groffman, 1984; Böhm und Ahrens, 1989; Abheur et al., 1992). Die direkte Folge dieser Tatsache zeigt sich in den unterschiedlichen Gehalten verschiedener Stickstofffraktionen in der Pflug-, der FR- und der Direktsaatvariante der in der vorliegenden Arbeit untersuchten Standorte.

4.1.1. Einfluß auf den Nitrat-N-Gehalt des Bodens

Die im Boden nachgewiesenen Nmin-Mengen (Nitrat- und Ammoniumstickstoff) unterschieden sich voneinander nicht nur von Standort zu Standort, sondern auch von Jahr zu Jahr. Die Witterung und die produktionstechnischen Entscheidungen (Bodenbearbeitung, Düngung, Fruchtfolge) liegen diesem Tatbestand zugrunde (Lochmann et al., 1989). Für eine quantitative Erfassung der Mineralisation, so Eileen et al. (1987), muß die kombinierte Wirkung vieler Faktoren erforscht werden. Auf verschiedenen Standorten kommen die verschiedenen Einflußfaktoren unterschiedlich zum Ausdruck.

4.1.1.1. Standort Gießen

In Gießen handelt es sich um einen Auenboden mit über 50 % Schluff- und 30 % Tongehalt. Im Versuchsjahr 1989/1990 (Tab. 3) herrschten im Herbst und im Winter relativ hohe Temperaturen. Dies begünstigte die Mineralisation und erhöhte damit den anhand der Analyse nach der EUF-Methode bestimmten Nmin-Gehalt bei der Pflug- und bei der Direktsaatmethode (Tab. 9).

Auch Dowdell und Cannel (1975), Rice und Smith (1983), Rice et al. (1987), Broder et al. (1984) und Hütsch (1991) stellten unter unterschiedlichen ambienten Bedingungen mehr Nitrat in der Pflugvariante als bei anderen Bodenbearbeitungsvarianten fest. Die FR-Variante enthielt sowohl im Herbst als auch im Frühjahr signifikant weniger mineralischen Stickstoff als die Pflug- und die Direktsaatvariante (Tab. 9 und Tab. 10). Dies dürfte von dem durch die Rückverdichtung des Bodens bei der FR-Bearbeitung verminderten Abbau der organischen Substanz hervorgerufen sein. Auf einem nassen Standort wirkt sich die Lockerung durch das Pflügen bzw. die Bodenstabilität bei der Direktsaat eindeutig positiv auf das Bodenleben aus.

Zwischen Herbst 1989 (0-30 cm Tiefe) und Frühjahr 1990 (0-30 m Tiefe) nahm die Nitratkonzentration ab (Abb. 2). Verantwortlich für diese Tatsache, so Vilsmaier et al. (1988), Hütsch (1991) und Levanon et al. (1993), dürfte die Nitratauswaschung sein. Die letzteren Autoren verglichen den Verlust von Agrochemikalien bei Pflugbearbeitung und bei Direktsaat. Hierbei wurde weniger Auswaschung bei Direktsaat als in der Pflugvariante festgestellt. Die milden Temperaturen und die Niederschläge (zwischen 80-100 mm) haben die Auswaschung verursacht. Im Verlauf des Herbstes und des Winters, besonders bei milderer Temperaturen und häufigen Niederschlägen, ist eine gewisse Auswaschung immer vorhanden. Laut Mengel (1991) muß bei humiden Bedingungen mit einer Nitratauswaschung gerechnet werden, solange die Feuchtigkeit und die Temperatur eine mikrobiologische Nitratbildung zulassen. Im Frühjahr war bei den Untersuchungen zur Nmin-Düngeempfehlung in der Beprobungstiefe 0-60 cm (Tab. 9) ersichtlich, daß die höchsten Nitratmengen in der Pflug- und die geringsten in der FR-Variante vorlagen.

Die vorhandene N-Menge hing freilich auch von anderen agrotechnischen Maßnahmen ab; El-Hariz et al. (1983) stellten beim Vergleich verschiedener Fruchtfolgen signifikant unterschiedliche Gesamtstickstoffgehalte fest. Chalk et al. (1989) bewiesen, daß Gerste mehr N^{15} aufnahm, wenn sie nach Lupinen angebaut wurde im Vergleich zum Anbau nach dem Weizen. Havlin et al. (1990) begründeten den Stickstoffkonzentrationsunterschied in den verschiedenen Fruchtfolgen mit der unterschiedlichen Menge an Pflanzenresten. Bei einem Vergleich der Nitratkonzentration unter Weizen in Monokultur, Sorghum in Monokultur, Weizen-Sorghum-Brache- und Weizen-Brache-Fruchtfolge fanden Eck und Jones (1984) die höchste Konzentration des Stickstoffs unter der letztgenannten. Auch Weranata (1979) sowie Jung et al. (1980) deuteten auf die unterschiedliche Wirkung verschiedener Vorfrüchte hin.

Im Herbst 1990 wurde Senf als Zwischenfrucht auf dem Standort Gießen angebaut. Der niedrige Nitratgehalt im Herbst bei allen Bodenbearbeitungsvarianten ist auf die N- Aufnahme des Senfbestandes zurückzuführen. In der Pflugvariante lag eine höhere Nitrat-, Ammonium- und EUF-Norg- Konzentration vor als in der FR- und der Direktsaatvariante (Tab. 17). Zum Frühjahr 1991 stieg die Nitratkonzentration in allen Bodenbearbeitungsvarianten an (Tab. 18). Bemerkenswert ist, daß die winterlichen Temperaturen niedriger waren als ein Jahr zuvor, so daß die Frühjahrsbeprobung etwas später stattfand. Da die Abbauintensität der Pflanzenreste saisonal bedingt ist (Dowdell und Cannel, 1975; Wedraogo et al., 1993), wurde die N-Nachlieferung aus dem eingearbeiteten Senf am Ende des Winters größer. Die leichte Zunahme der Nitratkonzentration ist darauf zurückzuführen.

Bei der Beprobung des Bodens im Frühjahr (bis 60 cm Tiefe) wurde mit der Nmin-Methode zwei- bis dreifach mehr Nitratstickstoff vorgefunden als im Herbst mit der EUF-Methode (Tab. 17 und 18). Bei Pflugbearbeitung lag die höchste Konzentration vor, während die FR-Variante leicht unter der Direktsaat lag. Die schnellere Erwärmung des gepflügten Bodens (Phillips, 1984; Phillips und Phillips, 1984) fördert die Mineralisation und somit die Nitratbildung.

Der im Versuchsjahr 1991/92 in Gießen angebaute Winterweizen kam nach der Maisernte. Im Weizenbestand vom Herbst 1991 hielt die schon im Frühjahr festgestellte Tendenz an: hohe Nitratgehalte waren in allen Bodenbearbeitungsvarianten vorhanden. Dabei fiel die große Nitratmenge in der Direktsaatvariante besonders auf (Tab. 23). Die hier zurückgelassenen Pflanzenreste wurden verstärkt weiter mineralisiert, bzw. der von ihnen mineralisierte Stickstoff akkumulierte im Oberboden (Granatstein et al., 1987; Unger, 1991; Friebe, 1992). Der niedrige EUF-Norg-Gehalt unter Direktsaat dürfte mit diesem Befund zusammenhängen. Die Pflanzenrückstände gewähren beim Pflugverzicht (Direktsaat und FR) zugleich einen Schutz vor einer eventuellen Auswaschung, was im gepflügten Boden nicht gegeben ist (Ehlers, 1973; Eck und Jones, 1992).

Die Herbsttemperaturen (1991) waren etwas höher als ein Jahr zuvor. Aus diesem Grund konnte die relativ niedrige Niederschlagsmenge eine Auswaschung aus der oberen Bodenschicht bewirken. Demzufolge wurden mit der Nmin-Analyse im Frühjahr geringere Nitratkonzentrationen im Oberboden gemessen als im Herbst. Dafür waren im Profil 0-60 cm hohe Nitratmengen vorhanden. Auf dem Standort Gießen könnten parallel zum Nitratverlust durch Auswaschung bei Nässe hauptsächlich bei der Direktsaatsvariante (Doran 1980, Budfort et al. 1981) Denitrifikationsverluste (Maidl und Fischbeck, 1987; Richter und Harrach, 1992) verstärkt aufgetreten sein.

4.1.1.2. Standort Wernborn

Der Standort Wernborn weist weniger Nässeineigung auf als der Standort Gießen. Der hohe Nitratgehalt im Herbst 1989 ist hier auf Ernterückstände der Vorfrucht (Raps) zurückzuführen. Beim Standort Wernborn war ein deutlicher Effekt der Bodenlockerung zu sehen. Die Pflug- und vor allem die FR- Variante enthalten die höchsten Nitratgehalte (Tab. 11).

Der Boden dieses Standortes ist bei höheren Niederschlägen und winterlichen Temperaturen einer starken Auswaschung ausgesetzt (Kané und Mengel, 1992). Im Frühjahr 1990 lag im Oberboden 60-75% des EUF-Nitratgehaltes vom Herbst 1989 vor (Tab. 12). Die Nitratkonzentration hatte zwischen Herbst und Frühjahr signifikant abgenommen. Steffens et al. (1990) stellten auch im Frühjahr ähnlich niedrige Stickstoffgehalte im selben Boden fest.

Die Abnahme der Nitratkonzentration war unter Direktsaat weniger ausgeprägt als bei Pflugbearbeitung (Abb. 4). Sie dürfte im Februar 1990 bei hohen Niederschlagsmengen und Temperaturen (Tab. 4) aufgetreten sein. Neben der Auswaschung sind sicherlich auch die N-Immobilisierung, die Ammonifikation und die Denitrifikation für diesen Tatbestand mitverantwortlich. Mikrobielle Aktivitäten dieser Art sind bei hohen Temperaturen (über 5°C)

möglich. Darüber hinaus wirken enge C/N-Verhältnisse fördernd auf die Mineralisation (Sturm et al., 1994). Laut Ottow (1990) sind die Denitrifikationsverluste bei Gülledüngung dauerhafter als bei Düngung mit Kalkammonsalpeter. Diese Feststellung verdeutlicht die wichtige Rolle der organischen Substanz bei mikrobiellen Aktivitäten aller Art. Auch bei Berücksichtigung des Profils (0-60 cm Tiefe) befand sich in der Pflugvariante mehr Nitratstickstoff als in der Direktsaat- und der FR-Variante.

Im Herbst 1990 waren die Auswirkungen der Abbausubstanzen der Zwischenfrucht (Raps) im Bodenstickstoffgehalt kaum nachweisbar. Der schon vorhandene Weizenbestand hatte einen Teil des Nitrats aufgenommen. Die niedrigen Temperaturen von Dezember 1990 (Tab. 4) ließen kaum Nitratbildung zu. Zusätzlich zu diesem Befund könnten die Denitrifikation und die N-Immobilisierung den geringen Nitratgehalt zu diesem Termin mitverursacht haben. Die Pflugvariante enthielt mehr Nitratstickstoff als andere Bodenbearbeitungsvarianten (Tab. 19).

Im Frühjahr 1991 (Abb. 12) war der Nitratgehalt unabhängig vom Bodenbearbeitungssystem nach Nmin-Analyse höher als der Gehalt im Herbst (EUF-Analyse). Aufgrund niedriger Temperaturen und Niederschlagsmengen (Tab. 4) wurde keine Auswaschung festgestellt. Im Frühjahr wurde erheblich mehr Nitrat im Profil (0-60 cm) gemessen als im Herbst 1990. Da bei Pflugbearbeitung im Gegensatz zur reduzierten Bearbeitung (vor allem zur Direktsaat), eine schnelle Erwärmung im Frühjahr erfolgte (Blevins et al. 1984), enthielt diese Variante am meisten Nitrat.

4.1.1.3. Standort Hassenhausen

Auf dem Standort Hassenhausen war im Herbst 1989 der höchste Nitratgehalt in der Direktsaatvariante vorhanden (Tab. 13). In der Pflugvariante hingegen wurde die niedrigste Nitratkonzentration nachgewiesen. Die Direktsaatvariante ist, wie schon erwähnt, befähigt, viele Pflanzenreste zu mineralisieren und den entstandenen mineralischen Stickstoff zu akkumulieren. Standorte wie Hassenhausen sind aufgrund der mittleren Textur und der guten Drainage für die pfluglose Bodenbearbeitung gut geeignet.

Im Frühjahr 1990 (Nmin-Analyse) war der Nitratgehalt in allen Bodenbearbeitungsvarianten niedriger als im Herbst (EUF-Analyse). Der höchste Nitratgehaltsunterschied war unter Direktsaat und der geringste bei Pflugbearbeitung vorhanden (Abb. 6). Es wurden zwei vermeintliche Gründe dieser Beobachtung in der vorliegenden Arbeit nicht erforscht: die von den Pflanzen (Gerste) aufgenommene N-Menge und die Nitratverlagerung unter 60 cm Tiefe. Zahlreiche Untersuchungen haben erwiesen, daß die Auswaschung aus dem ungepflügten Boden wesentlich niedriger ist als aus dem gepflügten (Levanon et al., 1993; Chichester und Richardson, 1992). Dieser Befund macht die N-Aufnahme im Gerstebestand im Herbst zum glaubwürdigen Grund der Nitratgehaltsabnahme unter Direktsaat, zumal im Herbst und im Winter milde Temperaturen herrschten (Tab. 6).

Im Jahr 1990/91 wurde Raps auf dem Standort Hassenhausen angebaut. Trotz dieser vorteilhaften Vorfrucht erreichte die Nitratkonzentration aller drei Bodenbearbeitungssysteme im Herbst 1991 nicht die vom Herbst 1989 (Tab. 25). Dennoch wurden mit Ausnahme der FR-Variante leichte Nitratgehaltszunahmen zum Frühjahr 1992 ersichtlich (Abb. 18). Dies

geht auf die Spätwirkung des Abbaus der Pflanzenreste (Raps) bei milden Temperaturen zurück. Die Nitratkonzentration war unter Direktsaat am höchsten. In der Tiefe 0-60 cm war im Frühjahr doppelt soviel Nitrat gemessen worden wie im Oberboden im Herbst mit der EUF-Analyse (Tab. 25). Die guten Abbaubedingungen der Direktsaatvariante kamen in den hohen Nitratkonzentrationen bei beiden Beprobungszeitpunkten zum Ausdruck. Dies zeigte sich trotz der möglichen N-Aufnahme im Weizenbestand.

4.1.1.4. Standort Bruchköbel

Ein guter Einfluß des Pflugverzichtes auf den Nitratgehalt war auf dem sandigen Boden von Bruchköbel zu verzeichnen. Die Direktsaatvariante enthielt im Herbst 1989 die höchste Nitratkonzentration (Tab. 15). Die EUF-Werte vom Herbst 1989 unterschieden sich kaum von den Nmin-Werten vom Frühjahr 1990.

Angesichts der milden Temperaturen vom Herbst 1989 (Tab. 5) müßte sowohl mit N-Freisetzung und -Aufnahme als auch mit einer Auswaschung gerechnet werden. Doch selbst die Berücksichtigung des Profils (0-60 cm) deutete auf keine bedeutende Erhöhung des Nitratgehaltes gegenüber dem Oberboden der Direktsaatvariante hin (Tab. 16). Daher ist die Rolle des Unterbodens der Direktsaatsvariante dieses Standortes gering, was die Nährstoffversorgung angeht. Berücksichtigt man das Profil (0 bis 60 cm) der Pflug- und der FR-Variante, so läßt sich an den Werten der Nmin-Analyse eine deutliche Erhöhung der Nitratwerte erkennen. Dies deutet eine Auswaschungsgefahr in den beiden letzteren Varianten an. Somit wurde die von Hütsch (1991) erwähnte erhöhte Auswaschungsgefahr bei Pflugbearbeitung bestätigt. Die Autorin stellte in der Bodentiefe 100-120 cm im Dezember und im Februar eine höhere Konzentration an mineralischem Stickstoff in der Pflugvariante im Vergleich zur Direktsaat fest.

Vor der Hauptfrucht (Mais) wurde auf dem Standort Bruchköbel im Herbst 1990 Senf als Zwischenfrucht angebaut. Die Stickstoffaufnahme führte zur Verringerung der Nitratkonzentration im Oberboden. Die Bodenbearbeitungsvarianten unterschieden sich kaum voneinander (Tab. 21). Die dank Stickstoffaufnahme durch die Zwischenfrucht verminderte Auswaschungsgefahr liegt dem identischen Nitratgehalt aller drei Bodenbearbeitungsverfahren zugrunde. Zum Frühjahrsbeprobungstermin (Nmin-Untersuchung) lag viel mehr Nitrat im Oberboden als im Herbst (EUF-Untersuchung) vor; jedoch waren nur geringe Stickstoffmengen vorhanden (Tab. 22). Der sandige Standort von Bruchköbel ist vergleichsweise arm an organische Substanz. Deshalb ist hier das mikrobielle Leben und somit die Mineralisation bescheiden. Hinzu kommt die Tatsache, daß der vergleichsweise kühlere Winter kaum eine bemerkenswerte Mineralisation zuließ. Die langsamere Erwärmung der Direktsaatvariante macht diesen Befund deutlicher.

Zwischen den Herbst- und den Frühjahrswerten bestand kein nennenswerter Unterschied (Abb. 14). Der Nitratstickstoffgehalt im Profil (0-60 cm), gemessen im Frühjahr (Nmin-Methode), war drei- bis viermal höher als im Oberboden im Herbst (EUF-Methode) und rund doppelt so hoch wie im Oberboden im Frühjahr (Tab. 22). Die nachhaltige Wirkung des

Abbaus der Zwischenfrucht verbesserte die Nitratversorgung aller drei Bodenbearbeitungsvarianten.

4.1.1.5. Standort Ossenheim

Der Standort Ossenheim ist humusreich. Hier waren unter Pflug und Direktsaat hohe Nitratmengen im Herbst 1991 zu verzeichnen (Tab. 27). Dies ist auf die hohe mikrobielle Aktivität zurückzuführen. Die Nitratstickstoffkonzentration im Oberboden war im Frühjahr 1992 (Nmin-Analyse) geringer als im Herbst 1991 (EUF-Analyse). Vornehmlich war die Nitratauswaschung und die N-Aufnahme durch den Weizen Ursache für dieses Ergebnis.

Die konstante Nitratkonzentration bei Grubberbearbeitung (Tab. 28, Abb. 20) bleibt rätselhaft. Eine mögliche Erklärung könnte die Tatsache sein, daß die FR-Variante in Ossenheim relativ neu und noch instabil war. Eine Betrachtung des ganzen Profils (0-60 cm) zeigte, daß die im Herbst anhand der EUF-Methode im Oberboden vorgefundene Nitratmenge sich von der im Frühjahr anhand der Nmin-Methode in 60 cm Tiefe gemessenen Konzentration kaum unterschied. Das gilt aber nicht für die Werte der FR-Variante und den Oberboden aller drei Varianten, die nur die Hälfte der Menge im gesamten Profil ausmachten.

Die Untersuchungen zeigten, daß der Nitratgehalt von der Bodenbearbeitung beeinflusst wird. Er wird von vielen anderen Faktoren mitgestaltet: dem Standort, der Fruchtfolge und nicht zuletzt der Witterung (Temperatur, Niederschlagsmenge). Böhm und Ahrens (1989) bewiesen, daß die N-Mineralisation und die Proteaseaktivität standortspezifisch sind. Sie stellten bei Ihren Untersuchungen auf dem sandigen Standort von Bruchköbel weniger Nitratreduktaseaktivität fest als im schluffigen Lehm von Ossenheim.

4.1.2. Einfluß auf den Ammoniumgehalt im Boden

Dem Ammoniumstickstoff kommt eine wichtige Rolle als mineralischem Nährstoff in der Stickstoffversorgung der Pflanze zu. Jedoch nimmt die Mehrheit der Kulturpflanzen auf normalen landwirtschaftlichen Böden vornehmlich den Nitratstickstoff auf. Buchner und Sturm (1985) sowie Mengel (1991) betonen, daß auch der als Ammonium gedüngte Stickstoff meistens nach der Nitrifikation als Nitrat von den Pflanzen aufgenommen wird. Doch nicht nur die Nitrifikation hat einen Einfluß auf die Ammoniumkonzentration im Boden. Auch die Ammoniumfixierung spielt unter bestimmten Standorts- und Klimabedingungen ebenfalls eine große Rolle in der Ammoniumbilanz.

4.1.2.1. Standort Gießen

Im Herbst 1989 war auf dem Standort Gießen der Einfluß der Vorfrucht (Zuckerrüben) auf den Ammoniumstickstoffgehalt bedeutend. Der Umbau der organischen Substanz zum Nitrat läuft über die Ammoniumbildung (Beer et al., 1990; Mengel, 1991). So wurden große Mengen an EUF-Ammoniumstickstoff besonders in der Direktsaat- und der Pflugvariante vorgefunden (Tab. 9). Die mikrobielle Aktivität dürfte höher gewesen sein als in der FR-Variante. Zur Ammoniumbildung trägt die Menge der organischen Substanz im Boden viel bei. Ihre Umsetzung wird durch die Lockerung beim Pflügen und den Gehalt an organischen

Substanzen sowie durch das stabile mikrobielle Leben der Direktsaatvariante begünstigt. Darüber hinaus zeichnet sich dieser Boden durch hohe Gehalte an Zwischenschichtammonium (Abb. 34 und 35) aus.

Im Frühjahr 1990 (Nmin-Analyse) war in allen Bodenbearbeitungsvarianten kein Ammonium mehr vorhanden (Tab. 9 und Abb. 3). Ob die Ammoniumimmobilisierung diese Tatsache mitverursacht hat, kann in der vorliegenden Arbeit im Kapitel 4.1.4 besprochen werden. Als unumstrittene Gründe jedoch dürfen die Nitrifikation und die Stickstoffaufnahme im Weizenbestand angesehen werden.

Im nachfolgenden Herbst (1990) wurde weniger Ammoniumstickstoff gemessen (Tab. 17) als im Herbst zuvor. Die Stickstoffaufnahme durch die Zwischenfrucht (Senf) und die vergleichsweise geringere Nachlieferung von den Weizenresten brachten diesen Befund zustande. Ähnlich wie im Vorjahr war der Ammoniumgehalt im Frühjahr 1991 (Nmin-Analyse) geringer als im Herbst 1990 (Tab. 18 und Abb. 11).

Im Versuchsjahr 1991/92 wurden ähnliche Beobachtungen gemacht wie im Vorjahr (Tab. 24). Auffällig war die höhere Konzentration aller Stickstofffraktionen. Diese Erhöhung wurde von der Mineralisation der Reste der Vorfrucht (Mais) verursacht. Die Ammoniumkonzentration im Frühjahr war unwesentlich niedriger als im Herbst (Abb. 17). Bei den relativ milden Frühjahrstemperaturen war ein Abbau der Pflanzenreste vorhanden.

4.1.2.2. Standort Wernborn

Im Vergleich zum Nitrat- war der Ammoniumgehalt niedrig (Tab. 11). Die Ammoniumbildung aus den Resten der Vorfrucht (Raps) verlief simultan mit der Nitrifikation. Dies begrenzte die Akkumulation vom Ammonium. Die Bestätigung dieser Tendenz ergab sich im nachfolgenden Frühjahr, als eine Senkung der Ammoniumkonzentration gegenüber dem Herbst vorhanden war. Sie war bei der Direktsaatvariante besonders ausgeprägt (Abb. 5).

Im Versuchsjahr 1990/91 wiederholte sich dieses Phänomen (Tab. 19 und Abb. 13). Der Unterschied bestand darin, daß die Nachlieferung aus dem Winterweizen gering war.

4.1.2.3. Standort Hassenhausen

Ähnlich wie in Gießen verlief die Ammoniumbildung auf dem Standort Hassenhausen. Hier war in den Jahren 1989/90 und 1991/92 wenig Ammoniumstickstoff im Boden gemessen worden (Tab. 13, 14, 25 und 26). Infolge der hohen mikrobiellen Aktivität verlief die Nitratbildung nach der Ammonifikation zügig. Dieser Prozeß war bei der Pflugvariante besonders stark ausgeprägt, was sich in den niedrigen Ammoniumkonzentrationen vom Frühjahr beider Versuchsjahre widerspiegelte. Die Ammoniumkonzentration nahm im Jahr 1990 signifikant ab (Abb. 7). Im Versuchsjahr 1991/92 war die Abnahme aufgrund der Nachlieferung von den Rapsresten bei milden Temperaturen nicht signifikant (Abb. 19).

4.1.2.4. Standort Bruchköbel

Auf dem sandigen Standort Bruchköbel wurden größere Mengen an Ammoniumstickstoff gemessen als auf den anderen Standorten (Tab. 15). Seine Konzentration war nur unwesentlich niedriger als die des Nitratstickstoffs. Insgesamt wurde hier wenig Stickstoff im Boden gemessen. Da dieser Standort wenig organische Substanz enthält, weist er eine geringe mikrobielle Aktivität auf. Die letztere hängt nämlich stark vom C-Gehalt ab (Mengel, 1991). Demzufolge ist sowohl die Ammonium- als auch die Nitratbildung bescheiden. Die Nitrifikation führte im Frühjahr zu einer signifikanten Senkung der Konzentration des Ammoniumstickstoffs (Abb. 10).

Im Versuchsjahr 1990/91 nahm die Zwischenfrucht einen Anteil des Bodenstickstoffs auf (Tab. 21). Im Frühjahr des Versuchsjahres 1990/91 (Nmin-Analyse) war der Ammoniumstickstoffgehalt im Vergleich zum Herbst (EUF-Analyse) geringer (Abb. 15). Zum Vegetationsbeginn trug die Umsetzung der Ernterückstände von der Zwischenfrucht zur Stabilisierung der Ammoniumkonzentration bei.

4.1.2.5. Standort Ossenheim

Die niedrige Ammoniumstickstoffkonzentration des Standorts Ossenheim (Tab. 27) ist auf die hohe Nitrifikation zurückzuführen. Hier handelt es sich um eine tiefgründige Parabraunerde. Der Boden liefert günstige Bedingungen zur Ammonifikation und zur Nitratbildung. Die hohe Nitrifikation führte zur Senkung des Gehaltes an Ammoniumstickstoff im Frühjahr im Vergleich zum Herbst (Abb. 21). Bei der hiesigen guten Bodenqualität trat keine hemmende Wirkung der Ammoniumkonzentration (Mahli und Mc Gill, 1985) auf die Nitratbildung auf.

4.1.3. Einfluß auf den EUF-Norg-Gehalt im Boden

Bei Untersuchungen auf Sandböden kam Appel (1991) zu der Erkenntnis, daß der Gehalt an pflanzenverfügbarem Stickstoff stark von bodenbürtigen Quellen abhängt. Nur ein Bruchteil des im Boden befindlichen Stickstoffs ist den Pflanzen zugänglich (Mengel und Kirkby, 1987). Der größte Teil des Bodenstickstoffs ist organisch gebunden. Je nach dem, in welcher Form und wie stark der Stickstoff gebunden ist, kann er nach dem Abbau der organischen Substanz von Pflanzen aufgenommen werden.

Der leicht abbaubare Anteil des Pools des organischen Stickstoffs wurde in der vorliegenden Untersuchung im Herbst mit der EUF-Methode erfaßt. Die Norg-Fraktion ist eine Übergangsfraktion (Horn, 1990; Barekzai et al., 1992) zwischen den makromolekularen organischen stickstoffhaltigen Substanzen und den mineralischen Stickstoffformen. Ihre Konzentration variierte von Standort zu Standort und hing von den Bewirtschaftungsmaßnahmen ab (Bodenbearbeitung, organische Düngung, Fruchtfolge, Zwischenfruchtanbau etc.).

4.1.3.1. Standort Gießen

Laut Wood et al. (1991) führen intensive Fruchtfolgen zu einer starken Anreicherung der oberen Bodenschicht mit organischen Substanzen. Dieser Befund wurde auf dem Standort Gießen in den Versuchsjahren 1989/90 und 1991/92 bestätigt. Hier wurde nämlich

Wintergerste (1989) nach Zuckerrüben und Winterweizen (1991) nach Mais angebaut. Zu den jeweiligen Herbstbeprobungsterminen der genannten Versuchsjahre befanden sich erhebliche Norg-Mengen im Boden (Tab. 9 und 23). Im Herbst 1989 nach den hohen Rübenenerträgen der Pflugvariante enthielt diese im Oberboden (0-30 cm) die höchste Norg-Konzentration. Dieselbe Tendenz bestand auch im Herbst 1991 nach der Maisernte (Tab. 23).

Im Herbst 1990 wurden nach der Ernte der Wintergerste geringe Norg-Mengen gemessen (Tab. 17). Das Getreide hinterläßt im Vergleich zum Zuckerrüben weniger und schwerer abbaubare Reste. Der Standort Gießen reagiert auf extreme Witterungsbedingungen (starke Regenfälle, Trockenheit) schnell mit Übersättigung bzw. mit Verkrustung. In beiden Fällen wird die mikrobielle Aktivität und somit der Umbau vom organischen Material zu seinen niedermolekularen Formen beeinträchtigt. Mit der vom Pflügen bewirkten Bodenlockerung und darauf folgendem Humusabbau (Schröder, 1991), ist der höhere Norg-Gehalt zu erklären.

4.1.3.2. Standort Wernborn

Die reduzierte Bodenbearbeitung (FR-Variante) des Standortes Wernborn enthielt im Herbst 1989 am meisten organischen EUF-Stickstoff und die Direktsaat am wenigsten (Tab. 11). Ein Jahr danach war der Norg-Gehalt niedriger und in allen Bodenbearbeitungsvarianten ausgeglichen. Hier schnitt die Direktsaatvariante sowohl im Norg- als auch im Nitratgehalt schlechter (Tab. 19) ab als die Pflugvariante. Beim Fehlen einer wendenden Bodenbearbeitung reichert sich die organische Substanz in der Oberkrume an. Daher zeigte eine Untersuchung der oberen Schicht (0-5cm) sehr hohe Norg-Mengen in der Direktsaatvariante (Hütsch, 1991), während die Einbeziehung des gesamten Oberbodens (0-30 cm) eine niedrigere Konzentration aufwies. Hinzu kommt, daß die Pflanzenreste bis zum Herbst 1990 weitgehend abgebaut waren.

4.1.3.3. Standort Hassenhausen

Bei günstigen Bodenverhältnissen werden die Direktsaat- und die FR-Variante in die Lage versetzt, die Norg-Fraktion verstärkt zu bilden. Das wurde auf dem Standort Hassenhausen im Herbst 1989 durch den höheren Norg-Gehalt in den letztgenannten Bodenbearbeitungsvarianten verdeutlicht (Tab. 13). Auch im Herbst 1991 war die Flügelscharvariante die deutlich Norg-reichere Variante, während die Pflug- leicht der Direktsaatsvariante überlegen war (Tab. 25). Der hohe Gehalt an organischem Stickstoff in der Pflugvariante läßt sich in diesem Fall mit der organischen Düngung erklären, welche hier am höchsten war. Jedoch war die Norg-Konzentration niedriger als im Jahre 1989. Grund dafür war die weitgehende Umsetzung des organischen Düngers und der Gersten- und Rapsreste zwischen dem Frühjahr 1990 und dem Herbst 1991. In diesem Zeitraum fanden keine Untersuchungen statt.

Aus den Ergebnissen der oben genannten Standorte läßt sich eine Beziehung zwischen dem Nitrat-N- und dem Norg-Gehalt ableiten. Die Relevanz dieser Beziehung ist nicht anhand der Versorgungsstufe alleine zu bewerten. Die Art der Ernterückstände (Wedraogo et al., 1993), die Witterungsverhältnisse (Andr  n et al., 1993), das Wasser-Luft-Verhältnis üben einen ent-

scheidenden Einfluß auf die Stickstoffnachlieferung aus. Die relativ höhere Norg-Konzentration auf dem Standort Gießen nach der Rübenenernte (Herbst 1989) und nach der Maisernte (Herbst 1991) spiegelte sich in einer erhöhten Nitrat-N-Konzentration wider. Das Gegenteil war unter Senf nach Wintergerste (Herbst 1990) der Fall.

Ein ähnlicher Befund war auf dem Standort Hassenhausen zu registrieren. Hier fiel bei der Direktsaatsvariante die höchste Nitratkonzentration bei niedriger Norg-Konzentration im Herbst 1991 auf. Es herrschte eine hohe mikrobielle Aktivität in der oberen Bodenschicht (Linn und Doran, 1984), und zusätzlich war diese Variante der Auswaschung weniger ausgesetzt. Dowdell et al. (1983) schätzten bei einer vergleichenden Untersuchung über die Nitratauswaschung unter Wintergetreide bei der Pflug- und der Direktsaatmethode die Verluste in der letztgenannten Variante auf 76% der Pflugvariante. Somit kann die Direktsaat mehr Nährstoffe akkumulieren.

Tracy et al. (1990) stellten in einer Studie über den Einfluß der Bodenbearbeitung auf die Mineralisation eine höhere Akkumulation des Nitrates, des Ammoniums und des Phosphors im Oberboden der Direktsaat- im Vergleich zur Pflugvariante fest. Mit den nach langjähriger pfluglosen Bewirtschaftung eintretenden Veränderungen des Oberbodens wird diese Tatsache begründet. Diez et al. (1988) stellten beim Unterlassen des Pflügens erhebliche Reduzierungen des Oberflächenabflusses um 50% und des Bodenabtrages um 90% fest. Ähnliche Beobachtungen wurden von Blevins et al. (1990), Chichester und Richardson (1992) und Mostaghini et al. (1992) gemacht. Sie stellten größere Sediment- und Nährstoffverluste in der Pflugvariante im Vergleich zur pfluglosen Bewirtschaftung fest.

4.1.3.4. Standort Bruchköbel

Im Gegensatz zum Standort Wernborn ist der Standort Bruchköbel sandig und tiefgründig. Selbst nach dem Zuckerrübenanbau (1989) blieb hier der Norg-Gehalt niedriger (Tab. 15) als in den anderen Versuchsstandorten. Einerseits ist hier das Ertragsniveau und somit die Menge der Ernterückstände niedriger, andererseits ist der Boden locker und erwärmt sich relativ schnell. Diesem Tatbestand zufolge werden die Pflanzenreste unter Umständen schnell mineralisiert. Die Norg-Gehalte sind von der Fruchtfolge abhängig. Die Direktsaatvariante schnitt hier gut ab. Sie ist stabiler als die anderen Bodenbearbeitungsvarianten. Ihre relativ gute Struktur schützt vor erhöhter Auswaschung und verbessert die mikrobielle Aktivität sowie die Speicherkapazität des Bodens.

4.1.3.5. Standort Ossenheim

Hier enthielten die FR- und die Pflugvariante mehr Norg als die Direktsaat (Tab. 27). Die beiden letztgenannten waren dank ihres guten Mineralisationsvermögens nitratreicher. Auf diesem Standort wurde die FR-Variante zwei Jahre vor dem Versuchsbeginn umgepflügt. Somit lag die Vermutung nahe, daß diese Variante sich im Versuchsjahr noch als instabil erweisen würde. Zahlreiche Autoren weisen auf eine Änderung im C- und N-Gehalt infolge des Pflugverzichtes hin. Rice et al. (1986) berichteten, daß erst nach neun Jahren Direktsaat die Auswirkungen dieser Variante eindeutig festgestellt werden konnten.

Im Laufe der Versuchsperiode erwies sich der Norg-Gehalt als stark von der Fruchtfolge, dem Standort und in manchen Fällen von der Bodenbearbeitung abhängig.

4.1.4. Einfluß auf den Gehalt an fixiertem Ammonium

In der N-Bilanz des Bodens verdienen vornehmlich die Nitrat-, die austauschbare NH_4^+ - und die organische Stickstofffraktion die größte Beachtung. Unter Umständen jedoch kann das fixierte Ammonium die Stickstoffbilanz beeinflussen. Weist ein Standort höhere Mengen dieser N-Fraktion auf, sollte, so Mengel (1987), für die Erfassung der Stickstoffnachlieferung das Zwischenschichtammonium berücksichtigt werden. Die maßgebliche Beteiligung des fixierten Ammoniums im Stickstoffhaushalt des Bodens wurde von Dressler und Mengel (1985) in Parabraunerden aus Löß und Alluvialböden bewiesen.

4.1.4.1. Standort Gießen

Der Standort Gießen (Auenboden) enthielt im Versuchsjahr 1989/90 (Abb. 28 und 29) erhebliche Mengen an fixiertem Ammonium. Die Nässe führt hier zur Entstehung anaerober Verhältnisse, und somit wird die Ammoniumfixierung begünstigt (Beer et al. 1990). Bedingt dadurch, daß die Bodenbearbeitung besonders das Pflügen den Oberboden lockert und die Luftzufuhr erhöht, wird mehr Ammonium im Unterboden fixiert. Unabhängig vom Standort und von der Art der Bodenbearbeitung wurde mehr Zwischenschichtammonium im Unterboden gemessen als im Oberboden. Bei reduzierter Bodenbearbeitung ist mit einem höheren Wassergehalt (Lamb et al., 1987) und einer höheren Stickstoffimmobilisierung zu rechnen (Rice und Smith, 1984). Diese Feststellung sowie der hohe Anteil an organischer Substanz liefern den Grund dafür, daß die Direktsaatsvariante mehr Zwischenschichtammonium enthielt als die Pflugvariante.

4.1.4.2. Standort Hassenhausen

Auf dem Standort Hassenhausen (Abb. 30 und 31) bestanden kaum Unterschiede zwischen den Gehalten an fixiertem NH_4^+ bei den beiden Bodenbearbeitungskonzepten. Der Standort Hassenhausen verfügt über eine bessere Bodenstruktur. Aus diesem Grunde wurde hier weniger Ammonium immobilisiert.

4.1.4.3. Standort Wernborn

In Wernborn war das Gegenteil von Gießen der Fall (Abb. 32 und 33): Laut Lamb et al. (1987) beeinflußt der Gehalt an organischer Substanzen den des fixierten Ammoniums. Im Boden von Wernborn scheint die Direktsaat nur in einer kleinen Oberschicht organische Substanzen zu akkumulieren. In einem Inkubationsversuch stellten Cochran et al. (1980) weniger fixiertes Ammonium dann fest, wenn das Weizenstroh ungemischt auf der Bodenoberfläche appliziert wurde. In diesem Fall wurde die organische Substanz nur in der dünnen oberen Bodenschicht aufgenommen. In Wernborn wurden im Dezember 1989 und im Februar 1990 große Niederschlagsmengen registriert. Die Direktsaatvariante dieses Standorts ließ das Wasser aufgrund der kontinuierlichen Poren besser durchfließen als die Pflugvariante.

Da eine Pflugsohlebildung hier nicht ausgeschlossen ist, kommt die Entstehung von Staunässe häufig vor. Die auf dieser Weise entstandenen Wasser-Luft-Verhältnisse führten zu reduktiven Bedingungen und einer verstärkten Ammoniumfixierung.

Drury und Beauchamp (1991) bezeichneten die Fraktion des fixierten Ammoniums als einen Speicher, der nur spärlich zugänglich sei. Kitur et al. (1983) und Rice und Smith (1984) wiesen auf eine niedrigere Nutzung des Düngestickstoffs bei höherer Ammoniumfixierung hin. Die Beprobung des Bodens auf seinen Gehalt an Zwischenschicht-Ammonium im Herbst, Frühjahr und Sommer sollte dazu verhelfen, eine eventuelle Beteiligung dieser Fraktion an der Stickstoffversorgung der Kulturpflanzen festzustellen. Dies setzte voraus, daß die im Frühjahr im Boden vorhandene Konzentration im Sommer abnimmt. Das war im Standort Hassenhausen (Pflug- und Direktsaatvariante) und in Wernborn (Pflugvariante) der Fall. Im Auenboden von Gießen und bei der Direktsaatvariante von Hassenhausen stieg die Konzentration im Sommer an. Allerdings können angesichts der häufigen Änderungen der Witterungsverhältnisse im Laufe der Vegetationsperiode, diese Ergebnisse nicht als Faustregel betrachtet werden. Besonders in Gießen fiel die Senkung der Konzentration des fixierten Ammoniums im Frühjahr auf. Hier ist die Beteiligung des fixierten Ammoniums an der Versorgung von Kulturpflanzen mit Stickstoff nicht ausgeschlossen. Eine häufigere Beprobung der Böden in der Vegetationsperiode könnte hinsichtlich dieser Problematik zu einer genaueren Aufklärung beitragen.

4.1.5. Einfluß der Bodenbearbeitung auf die Stickstoffdynamik des Standorts Bruchköbel

4.1.5.1. Einfluß der Bodenbearbeitung und der Bodentiefe auf den Nitratgehalt

Wie schon im Kapitel 3 erwähnt, ist in diesem Teilversuch das Mineralisationsvermögen des sandigen Standortes Bruchköbel untersucht worden. Ein Unterschied bestand zwischen Ober- und Unterkrume bezüglich des Nitratgehaltes (Abb. 24). Die Oberkrume enthielt mehr Nitrat als die Unterkrume. Hierbei ist die Oberkrume der Direktsaatvariante nitratreicher als die der Pflug- und der FR- Variante (Abb. 25). El-Haris et al. (1983), Böhm und Ahrens (1990), Tracy et al. (1990) und Hütsch (1991) gelangten beim Vergleich des Nitratgehaltes in unterschiedlich bearbeiteten Böden zu einem ähnlichen Ergebnis. Der Mineralisationsverlauf (Summe beider Tiefen) über die Vegetationsperiode zeigte eine Überlegenheit der Direktsaat gegenüber der Pflug- und der FR-Variante hinsichtlich des Nitratgehaltes (Abb. 22). Die Nitratkonzentration zeigte wegen der N-Aufnahme durch den Mais eine abnehmende Tendenz.

4.1.5.2. Einfluß der Bodenbearbeitung auf den Norg-Gehalt

Ein höherer Norg-Gehalt wurde in der Oberkrume aller Bodenbearbeitungsvarianten im Vergleich zur Unterkrume gemessen (Abb. 27). Auch van Gerstel et al. (1992) stellte bei einer Vergleichenden Untersuchung weniger organischen C und N in tieferen Bodenschichten fest. Die Gründe dafür liegen in dem erhöhten Anteil an Pflanzen und Pflanzenresten, aber auch in der höheren mikrobiellen Aktivität im Oberboden. Doran (1980) und Dick (1984) verglichen

die Aktivität von Phosphatase, Sulfatase, Invertase, Ammidase und Uriase in der oberen Schicht (0-7,5cm) auf gepflügtem und auf unbearbeitetem Boden. Im letztgenannten stellten die Autoren die höchste Aktivität fest. Selbst nach Wiesenumbruch, laut Follet und Schimel (1989), blieb in der Direktsaatvariante eine größere N-Konzentration (73%) als in der Pflugvariante (50%). Somit wurden die Untersuchungen von Fleige (1975) bestätigt, wonach auf einer Parabraunerde aus Löß beim Übergang vom Grünland zum Ackerbau höhere Stoffverluste bei Pflugbearbeitung auftraten als unter Direktsaat.

Aus den vorliegenden Untersuchungen ist ersichtlich, daß der Unterschied zwischen den Norg-Konzentrationen im Ober- und Unterboden am niedrigsten bei Pflugbearbeitung war (Abb. 28). Durch das Umpflügen und Mischen wurden die Pflanzenreste in der oberen Schicht verteilt. Parallel zur Minderung der Norg-Konzentration im Oberboden nahm diese im Unterboden zu. Diese Schicht der Pflugvariante enthielt mehr Norg als die der Direktsaat- und der FR-Variante. Hütsch (1991) machte dieselbe Feststellung auf Parabraunerde, Sandboden und Auenboden.

Über die ganze Vegetationsperiode und in allen Bodenbearbeitungsvarianten war die Norg-Konzentration in der obereren Bodenschicht höher als in der unteren (Abb. 26). Die Direktsaatvariante enthielt bei allen Beprobungsterminen den höchsten Norg-Gehalt. Vom Frühjahr bis zum Sommer (Abb. 25) bewegte sich die Norg-Konzentration der Direktsaatvariante im selben Bereich, während besonders bei der Pflugvariante aber auch bei der FR-Variante eine leichte Konzentrationsabnahme zu verzeichnen war. Die relative Stabilität der Norg-Konzentration, trotz der kontinuierlichen Mineralisation, deutet auf zwei parallel verlaufende Reaktionen hin: das Entstehen und den Abbau dieser Fraktion. Es wird deshalb angenommen, daß die EUF-Norg-Fraktion eine zwischengeschaltete Fraktion darstellt.

4.1.6. Schlußbetrachtung der Stickstoffdynamik bei differenzierter Bodenbearbeitung

Die Bodenuntersuchungen zeigen, daß die Konzentration unterschiedlicher Stickstofffraktionen vom Standort wie auch von der Bodenbearbeitungsmethode abhing. Die Bestätigung dieses Befundes wird nachfolgend erläutert.

Zur Beurteilung der Bodenbearbeitungsverfahren wurden die einzelnen Parameter (Nitrat-, Ammonium- und EUF-Norg-Gehalt) mit Punkten bewertet. Die Punktvergabe erfolgte abhängig davon, wie stark der Einfluß des erforschten Faktors im Vergleich zu anderen war.

Beispielsweise wurden beim Vergleich der Nitratgehalte unterschiedlicher Standorte bei differenzierter Bodenbearbeitung die statistischen Signifikanzen der Konzentrationsunterschiede als Anhaltspunkt angenommen. Sollte die Pflugvariante eine signifikant höhere Nitratkonzentration als die FR-Variante und letztere wiederum eine signifikant höhere als die Direktsaatvariante haben, so erhielt die Pflug- drei (3) Punkte, die FR- zwei (2) Punkte und die Direktsaatvariante einen (1) Punkt. Sollte der Unterschied der Nitratkonzentration zwischen der FR- und der Direktsaatvariante nicht signifikant sein, so erhielten beide je einen (1) Punkt und die Pflugvariante mit höherer Konzentration weiterhin drei (3) Punkte. Sollten die Pflug- und die FR-Variante eine identische Nitratkonzentration

haben und sollte die signifikant höher sein als in der Direktsaatvariante, so erhielten beide ersteren je zwei (2) Punkte und die Direktsaat einen (1) Punkt. Bei einer identischen Nitratkonzentration in allen drei Bodenbearbeitungsvarianten erhielten sie je einen (1) Punkt. Zur Beurteilung einer bestimmten Bearbeitungsmethode auf einem bestimmten Standort wurden die Punkte aus allen Versuchsjahren addiert und mit der Punktezahl anderer Varianten verglichen. Das Resultat stellt sich folgendermaßen dar:

Tab. 67: Vergleich der Konzentration unterschiedlicher N-Fractionen bei differenzierter Bodenbearbeitung im Herbst (H) bzw. im Frühjahr (F) in 0-30 bzw. 0-60 cm Tiefe (Bewertung durch Punkte)

Standort: Gießen

| Versuchsjahr | Fruchtart | N-Fraktion | Vergleich der Bodenbearbeitung | Bewertung | | |
|--------------|--|-----------------|--------------------------------|-----------|----|---|
| | | | | P | FR | D |
| 1989/90 | Wintergerste | EUf-Nitrat (H) | P>D>FR | 3 | 1 | 2 |
| | | EUf-Amm. (H) | D>P>FR | 2 | 1 | 3 |
| | | EUf-Norg (H) | P>D=FR | 3 | 1 | 1 |
| | | Nmin-Nitrat (F) | P>D=FR | 3 | 1 | 1 |
| | | | Gesamt | 11 | 4 | 7 |
| 1990/91 | Silomais (Zwischen frucht: Senf) | EUf-Nitrat (H) | P>FR=D | 3 | 1 | 1 |
| | | EUf-Amm. (H) | P=FR=D | 1 | 1 | 1 |
| | | EUf-Norg (H) | P>FR=D | 3 | 1 | 1 |
| | | Nmin-Nitrat (F) | P>FR>D | 3 | 2 | 1 |
| | | | Gesamt | 10 | 5 | 4 |
| 1991/92 | Winterweizen | EUf-Nitrat (H) | D>FR=P | 1 | 1 | 3 |
| | | EUf-Amm. (H) | P=FR=D | 1 | 1 | 1 |
| | | EUf-Norg (H) | P>D>FR | 3 | 1 | 2 |
| | | Nmin-Nitrat (F) | D=P>FR | 2 | 1 | 2 |
| | | | Gesamt | 7 | 4 | 8 |

Auf dem Standort Gießen (Tab. 67) enthielt der gepflügte Boden am meisten verfügbaren Stickstoff bei den Herbst- und bei den Frühjahrsbodenuntersuchungen. Hingegen enthielt die FR-Variante den wenigsten Stickstoff aller Fraktionen. Die Stickstoffkonzentration lag bei Direktsaat überwiegend unter der der Pflugvariante.

Tab. 68: Vergleich der Konzentration unterschiedlicher N-Fractionen bei differenzierter Bodenbearbeitung im Herbst (H) bzw. Frühjahr (F) in 0-30 bzw. 0-60 cm Tiefe (Bewertung durch Punkte)

Standort: Wernborn

| Versuchsjahr | Fruchtart | N-Fraktion | Vergleich der Bodenbearbeitung | Bewertung | | |
|--------------|--------------|-----------------|--------------------------------|-----------|----|---|
| | | | | P | FR | D |
| 1989/90 | Winterweizen | EUf-Nitrat (H) | FR>P>D | 2 | 3 | 1 |
| | | EUf-Amm. (H) | D>P>FR | 2 | 1 | 3 |
| | | EUf-Norg (H) | FR>P>D | 2 | 3 | 1 |
| | | Nmin-Nitrat (F) | P>D=FR | 3 | 1 | 1 |
| | | | Gesamt | 9 | 8 | 6 |
| 1990/91 | Winterweizen | EUf-Nitrat (H) | P>D>FR | 3 | 1 | 2 |
| | | EUf-Amm. (H) | FR>P=D, FR=D | 0 | 2 | 1 |
| | | EUf-Norg (H) | P=FR=D | 1 | 1 | 1 |
| | | Nmin-Nitrat (F) | P>FR>D | 3 | 2 | 1 |
| | | | Gesamt | 7 | 6 | 5 |

Auf dem Standort Wernborn lag deutlich mehr Stickstoff im bearbeiteten Boden (Pflug- und FR-Variante) vor als unter Direktsaat (Tab. 68). Hier war die Grubbervariante (FR) bei Betrachtung des Stickstoffhaushalts den anderen Methoden meist überlegen. Die Pflug- und die FR-Variante enthielten im Frühjahr identische Nitratgehalte in 60 cm Tiefe.

In Hassenhausen (Tab. 69) lagen die höchsten verfügbaren Stickstoffgehalte in der Direktsaatvariante vor. Die reduzierte Bodenbearbeitung und der Verzicht auf Bodenbearbeitung waren für den N-Haushalt dieses Standorts besser geeignet als die Pflugbearbeitung.

Tab. 69: Vergleich der Konzentration unterschiedlicher N-Fractionen bei differenzierter Bodenbearbeitung im Herbst (H) bzw. Frühjahr (F) in 0-30 bzw. 0-60 cm Tiefe (Bewertung durch Punkte)

Standort: Hassenhausen

| Versuchsjahr | Fruchtart | N-Fraktion | Vergleich der Bodenbearbeitung | Bewertung | | |
|--------------|--------------|-----------------|--------------------------------|-----------|----|----|
| | | | | P | FR | D |
| 1989/90 | Wintergerste | EUf-Nitrat (H) | D>FR>P | 1 | 2 | 3 |
| | | EUf-Amm. (H) | D>FR>P | 1 | 2 | 3 |
| | | EUf-Norg (H) | D>FR>P | 1 | 2 | 3 |
| | | Nmin-Nitrat (F) | P=FR=D | 1 | 1 | 1 |
| | | | Gesamt | 4 | 7 | 10 |
| 1991/92 | Winterweizen | EUf-Nitrat (H) | D>FR=P | 1 | 1 | 3 |
| | | EUf-Amm. (H) | P=FR>D | 2 | 2 | 1 |
| | | EUf-Norg (H) | FR>P>D | 2 | 3 | 1 |
| | | Nmin-Nitrat (F) | D>P>FR | 2 | 1 | 3 |
| | | | Gesamt | 7 | 7 | 8 |

Auf dem Standort Ossenheim lag mehr verfügbarer Stickstoff im gepflügten Boden vor als unter Direktsaat und in der FR-Variante (Tab. 71). Dieser Befund ging lediglich auf die hohe Nitratkonzentration zurück. Der Gehalt an Ammoniumstickstoff und EUf-Norg war bei allen Bodenbearbeitungsvarianten identisch.

Tab. 70: Vergleich der Konzentration unterschiedlicher N-Fractionen bei differenzierter Bodenbearbeitung im Herbst (H) bzw. Frühjahr (F) in 0-30 bzw. 0-60 cm Tiefe (Bewertung durch Punkte)

Standort: Bruchköbel

| Versuchsjahr | Fruchtart | N-Fraktion | Vergleich der Bodenbearbeitung | Bewertung | | |
|--------------|--------------|-----------------|--------------------------------|-----------|----|---|
| | | | | P | FR | D |
| 1989/90 | Winterweizen | EUf-Nitrat (H) | D>P=FR | 1 | 1 | 3 |
| | | EUf-Amm. (H) | FR>P=D | 1 | 3 | 1 |
| | | EUf-Norg (H) | FR=D>P | 1 | 2 | 2 |
| | | Nmin-Nitrat (F) | P=D>FR | 2 | 1 | 2 |
| | | | Gesamt | 5 | 7 | 8 |
| 1990/91 | Körnermais | EUf-Nitrat (H) | D>FR=P, D=P | 1 | 0 | 2 |
| | | EUf-Amm. (H) | P>FR=D, P=D | 2 | 0 | 1 |
| | | EUf-Norg (H) | P=D>FR | 2 | 1 | 2 |
| | | Nmin-Nitrat (F) | D>P>FR | 2 | 1 | 3 |
| | | | Gesamt | 7 | 2 | 8 |

Auf dem sandigen Standort Bruchköbel wurden die höchsten verfügbaren Stickstoffkonzentrationen unter Direktsaat nachgewiesen (Tab. 70). Die Grubber- und die Pflugbearbeitung waren fast identisch. Ein Pflugverzicht ist auf diesem Standort für die N-Verfügbarkeit vorteilhaft.

Tab. 71: Vergleich der Konzentration unterschiedlicher N-Fractionen bei differenzierter Bodenbearbeitung im Herbst (H) bzw. Frühjahr (F) in 0-30 bzw. 0-60 cm Tiefe (Bewertung durch Punkte)

Standort: Ossenheim

| Versuchsjahr | Fruchtart | N-Fraktion | Vergleich der Bodenbearbeitung | Bewertung | | |
|--------------|--------------|-----------------|--------------------------------|-----------|----|---|
| | | | | P | FR | D |
| 1989/90 | Winterweizen | EUf-Nitrat (H) | P>D>FR | 3 | 1 | 2 |
| | | EUf-Amm. (H) | P=FR=D | 1 | 1 | 1 |
| | | EUf-Norg (H) | P=FR=D | 1 | 1 | 1 |
| | | Nmin-Nitrat (F) | P>D>FR | 3 | 1 | 2 |
| | | | Gesamt | 8 | 4 | 6 |

4.2. Einfluß des Bodenbearbeitungssystems und des Düngeempfehlungskonzepts auf den Pflanzenertrag

Aus Kapiteln 3 und Abschnitt 4.1. geht hervor, daß die durch das Bodenbearbeitungssystem verursachten qualitativen Änderungen des Bodens standortabhängig sind. Laut Dick (1983) traten nach 18 Jahren differenzierter Bodenbearbeitung Unterschiede zwischen dem pH-Wert, dem C-Gehalt, den C/N-, C/P- und N/P-Verhältnissen auf zwei verschiedenen Standorten auf. Die Höhe und die Verteilung verschiedener Stickstofffraktionen differierten je nach Bodenart und klimatischen Gegebenheiten, aber auch je nach agrotechnischer Tätigkeit und Pflanzenart. Debruck (1971) bezeichnete deswegen die Direktsaat als unsicher, weil die Standorte und Witterungsverhältnisse sowie die Sätechnik den Feldaufgang, die Bestockung und damit die Bestandesdichte bestimmen. Im folgenden Kapitel werden die Ertragsabweichungen der untersuchten Pflanzenarten auf verschiedenen Standorten bei unterschiedlichen Bodenbearbeitungstechniken (P, FR, und D) und unterschiedlicher Düngung (N0, Düngung nach Nmin und Düngung nach dem Gießener Modell) erklärt.

4.2.1. Winterweizen

4.2.1.1. Standort Bruchköbel

Die nach der Nmin-Methode auf dem Standort Bruchköbel gedüngten Stickstoffmengen waren im Jahr 1990 sehr hoch und lagen bei 180 kg/ha in allen Bodenbearbeitungsvarianten (Tab. 41). Mit dem Gießener Modell wurden ca. 140 kg empfohlen. Dennoch überschritt der Weizenertrag nicht 50 dt/ha. Die Ertragserwartung dieses Standortes wurde zu hoch geschätzt. Selbst der Einfluß der Vorfrucht (Rüben) auf den Kornertrag des Winterweizens blieb aus (Abb. 40). Im sandigen Standort Bruchköbel ist die Auswaschungsgefahr sehr hoch. Strebel et al. (1986) verglichen verschiedene Böden und stellten die höchste Transportintensität und somit Auswaschung im Sandboden fest. Der Boden erwärmt sich schnell, und dadurch wird unter anderem viel Nitrat gebildet (Hütsch und Mengel, 1993). Der Stickstoff, ob bodenbürtig oder gedüngt, wird nur dann gut genutzt, wenn der verstärkten Freisetzung oder der

Düngergabe keine niederschlagsreiche oder zu trockenen Periode gefolgt ist. In gedüngten Parzellen fanden Mengel und Caspar (1980) zum Vegetationsende dort am meisten Restnitrat, wo der Boden am längsten trocken war. Daher ist neben der Menge die Düngergabenaufteilung für den Weizenenertrag verantwortlich.

Vergleicht man die Düngeempfehlungsmethoden, so ist der Ertrag bei N-Düngung nach dem Gießener Modell gleich (bei Pflugbearbeitung) oder höher (bei der FR- und der Direktsaatvariante) als bei N-Düngung nach der Nmin-Methode (Abb. 40). Diese Tatsache ist weniger auf die empfohlenen Düngemengen, als auf die bessere Gabenverteilung beim Gießener Modell zurückzuführen, denn nach dem Gießener Modell wurde weniger gedüngt. Die Tendenz, daß mit dem Gießener Modell (FR und D) mehr Getreide produziert wurde, läßt vermuten, daß die hohe Nmin-Düngung hauptsächlich zur vegetativen Entwicklung der Pflanzen beigetragen hat. Im betroffenen Jahr kam es gegen Vegetationsende zu einer Dürre, die den Düngeeffekt verringerte. Analoge Beobachtungen wurden von Appel und Mengel (1992) beschrieben. Die unterschiedlichen Bodenbearbeitungsmethoden erbrachten unterschiedliche Erträge. Es fällt auf, daß die pfluglosen Bodenbearbeitungsmethoden höhere Kornerträge erbrachten. Hierfür war die Trockenheit in den späteren Phasen der Vegetation verantwortlich. Eine angemessene Feuchtigkeit ist für die Wirkung der ausgebrachten Dünger unentbehrlich. Die reduzierte Bodenbearbeitung und vor allem die Direktsaat schützen den Boden vor der Austrocknung. Ihre obere Schicht enthält viele Pflanzenreste.

Der Strohertrag aller drei Bodenbearbeitungsvarianten war nur gering voneinander unterschiedlich (Abb. 41). Eine gleichmäßige und hinreichende vegetative Entwicklung hatte vor dem Eintreffen der Trockenperiode stattgefunden.

4.2.1.2. Standort Wernborn

Die Weizenenerträge vom Standort Wernborn (1990/1991) lagen durchschnittlich höher (Abb. 36) als die von Bruchköbel (über 70 dt/ha im Jahr 1990 und bei 65 bis 80 dt/ha im Jahr 1991). Hier war der Boden besser mit Stickstoff versorgt. Das Düngungsniveau (Tab. 33 und 48) war entsprechend niedriger (160 kg N/ha bei der Nmin-Methode und ca. 110 kg N/ha beim Gießener Modell). Der Unterschied von ca. 50 kg N/ha zwischen beiden Düngeempfehlungsmethoden wirkte sich negativ auf den Ertrag nach dem Gießener Modell aus. Mit dem letzteren wurde mit Ausnahme der Direktsaatvariante 1991 weniger Kornertrag erzielt als mit der Nmin-Methode. Der Tonschieferverwitterungsboden von Wernborn ist auswaschungsgefährdet. Die im Herbst für die Düngeprognose nach dem Gießener Modell berücksichtigte Stickstoffmenge wurde aufgrund der Auswaschung nicht effektiv genutzt (Kané und Mengel, 1992). Dieser Tatbestand unterstützt die Annahme, daß die höchsten Stickstoffverluste vor dem Frühjahr stattfinden (Dowdell et al., 1983; Strebel et al., 1986). Sie wurden bei der N-Düngeempfehlung nach dem Gießener Modell nicht erfaßt und bei der Nmin-Düngung beglichen. Die gute Ausnutzung des gedüngten Stickstoffs war an den höheren Erträgen bei der Nmin-Düngung ersichtlich.

Mit Ausnahme der Pflugvariante im Jahre 1991 war der Strohertrag beim Gießener Modell niedriger als bei der Nmin-Methode (Abb. 37). Die niedrige Leistung des Gießener Modells auf diesem Standort bestärkt die Tatsache, daß das Modell für tiefgründige Böden entwickelt wurde.

Der Kornertrag der ungedüngten Parzellen nahm im Versuchsjahr 1991 im Vergleich zum Vorjahr ab (Abb. 43). Auffällig ist die Feststellung, daß die geringsten Ertragseinbußen bei der Direktsaatvariante vorhanden waren. Die Nährstoffreserven werden bei dem letztgenannten Bodenbearbeitungskonzept langsamer verbraucht als bei den anderen. Wurde eine N-Düngung unternommen, so war anhand der hiesigen Untersuchungen die Leistung der Direktsaatvariante weniger stabil als die der Pflug- und der FR-Variante. Die Nachlieferung aus der dünnen Oberschicht der Direktsaat, die ungünstige Vorfrucht (Wi-Weizen) und die geringe Düngermenge beeinflussten den Ertrag besonders in dieser Variante am stärksten. Die FR-Variante war hier weniger von Extrembedingungen betroffen. Tiefgründige Böden mit weniger Auswaschungs- und Austrocknungsgefahr verfügen über bessere Bedingungen sowohl für die Direktsaat als auch für die Düngeempfehlung nach dem Gießener Modell. Diese Aussage wird von den Ergebnissen des Standorts Hassenhausen bestätigt.

4.2.1.3. Standort Hassenhausen

Hier wurde mehr Stickstoff mit dem Gießener Modell (ca. 180 kg N/ha) als mit der Nmin-Methode (ca. 165 kg N/ha) empfohlen (Tab. 59). Die Kornerträge beim ersteren sind entsprechend höher (Abb. 49). Eine Ausnahme stellte hier der niedrigere Ertrag des Gießener Modells in der FR-Variante (Kornertrag) und der Pflugvariante (Strohertrag) dar (Abb. 49 und 50). Die Düngerbedarfsprognose nach dem Gießener Modell war für den Standort relativ hoch.

Die langjährige Direktsaat bewirkte eine Anreicherung an Nährstoffen, eine Strukturverbesserung und dadurch auch bei niedrigen Düngermengen ein hohes Ertragsniveau des Bodens.

4.2.1.4. Standort Ossenheim

Ähnlich wie in Hassenhausen führten in Ossenheim (Abb. 51 und 52) die Direktsaat und das Gießener Modell zu hohen Erträgen. Die niedrigeren N-Gaben des Gießener Modells (ca. 150 kg N/ha) erbrachten mehr Kornertrag in der FR-Variante und weniger in der Direktsaatvariante als die Nmin-Düngeempfehlung (ca. 170 kg N/ha). In beiden Fällen wurde deutlich, daß die Düngerbedarfsprognose nach dem Gießener Modell auf diesem Boden zutrifft.

Der Effekt negativer Einflußfaktoren (überhöhte Mineralisierung sowie starke winterliche Niederschläge und Auswaschung) werden dank des guten Kulturstandes der Parabraunerde von Ossenheim weitgehend gemildert. Dies fiel am deutlichsten in der Direktsaatvariante auf. Hier ist selbst bei niedrigen N-Gaben (Gießener Modells: 145 kg N/ha) ein höherer Korn- und Strohertrag erzielt worden als in der FR-Variante. In der Direktsaatvariante findet eine

dauerhafte Stickstofffreisetzung statt. Die vorhandenen Nährstoffe bleiben dank guter Pufferung erhalten und werden besser ausgenutzt als in der FR-Variante.

4.2.1.5. Standort Gießen

Der Standort Gießen verfügte im Versuchsjahr 1991/92 über eine sehr hohe N-Versorgungsstufe. Selbst beim Verzicht auf N-Düngung wurden Korn- und Stroherträge (Abb. 47 und 48) von über 60 dt/ha erreicht. Grund dieses Tatbestandes war die Vorfrucht (Mais). Vom Herbst 1991 bis zum Frühjahr 1992 erhöhte sich der Gehalt an mineralischem Stickstoff erheblich. Diese Entwicklung wurde bei der Düngeempfehlung nach dem Gießener Modell nicht erfaßt. Mit dem letzteren Düngungskonzept wurde 20 bis 50 kg N mehr empfohlen als mit der Nmin-Methode.

Darauf folgte eine Überdüngung, die sich in den niedrigeren Korn- und Stroherträgen des Gießener Modells widerspiegelte. Laut Beer et al. (1990) bewirkt die Überdüngung eine erhöhte Anfälligkeit der Kulturpflanzen. Finck (1992) warnte bei Nährstoffüberangebot vor Vergiftung und Salzscha den. Fischer (1990) führte einen ähnlichen Befund auf den engen Optimalbereich der N-Versorgung zurück. Die höchste N-Gabe ergab den niedrigsten Ertrag. Das Gießener Modell sieht zwar für bestimmte Vorfrüchte einen dementsprechenden Abzug bei der Düngeempfehlung vor, kann jedoch die kumulative Auswirkung von Zwischenfrucht und Vorfrucht bei nicht optimalen Witterungsverhältnissen nicht erfassen. Zur Verbesserung der Treffsicherheit ist eine Anpassung der N-Gaben an die ständig wechselnde potentielle N-Nachlieferung unumgänglich. Im Jahre 1992 wäre ein Verzicht auf die erste Gabe, wie bei der Nmin-Düngung, eine bessere Verteilung gewesen, denn die Wirkung der N-Düngung, so Campbell et al. (1993), nimmt mit dem wachsenden Stickstoffnachlieferungsvermögen des Bodens ab. Bei einer guten Versorgung aus bodenbürtigen Quellen kann eine N-Düngung überflüssig werden.

Der Ertragsunterschied zwischen den Bodenbearbeitungssystemen war auch deutlich. Hier fiel die bessere Leistung der Direktsaatvariante auf. Bei dieser Bodenbearbeitungsvariante besteht weniger Übernässungs- und Verkrustungsgefahr (Groß, 1992); diese Tatsache gewährt ihr im Gegensatz zur Pflugvariante am Auenstandort von Gießen eine gewisse Ertragssicherheit. Eine Überdüngung wurde bei der Direktsaatvariante nicht eindeutig bestätigt. Die Nachlieferung aus den organischen Substanzen ist hier langsamer, und die tiefe Humusschicht ist fähig, manche Stickstoffformen festzulegen (Follet und Schimel, 1989; Hütsch und Mengel, 1992). Dies könnte das Auftreten von Überdüngung unterdrückt haben.

4.2.2. Wintergerste

4.2.2.1. Standort Gießen

Der Korn- und Strohertrag der Gerste in Gießen (Abb. 34 und 35) zeigte kaum Unterschiede zwischen der Düngung nach dem Gießener Modell und nach der Nmin-Methode. So wie beim Winterweizen hat die höhere N-Gabe des Gießener Modells (ca. 130 kg N/ha) im Vergleich zur Nmin-Methode keine bedeutend höheren Kornerträge erzielt. Beim Auftreten von

extremen Bedingungen (Trockenheit und Übernässung) reagiert der Auenboden von Gießen mit einer Einschränkung der Düngereffekte. Doch nicht nur die empfindlichen edaphischen Eigenschaften waren für die schlechte Ausnutzung des Düngerstickstoffs verantwortlich: Die Wintergerste hat eine kurze Vegetationsdauer: aus diesem Grunde konnte die zweite Düngergabe beim Gießener Modell nicht ausreichend ausgenutzt werden. Johnson und Fowler (1991a, 1991b) kamen bei Untersuchungen über die Harnstoffspätdüngung zu ähnlichen Ergebnissen.

4.2.2.2. Standort Hassenhausen

Bei den günstigeren Bodeneigenschaften von Hassenhausen schnitt das Gießener Modell besser ab als auf dem Standort Gießen. Hier brachte es (wie in Gießen) durchschnittlich höhere Korn- und Stroherträge als die Nmin-Methode (Abb. 38 und 39). Mit beiden Methoden wurden zwischen 95 und 110 kg N/ha gedüngt. Die Stickstoffgabenaufteilung gemäß dem Konzept des Gießener Modells brachte hier die beobachtete Ertragserhöhung. Bei qualitativ besseren Böden wie hier ist die Treffsicherheit des Gießener Modells höher. Auch eine Reduzierung oder ein Verzicht auf Bodenbearbeitung ist hier angebracht. Die FR- und die Direktsaatsvariante bewirkten hier eine langsame, aber dauerhafte Sicherung der Nährstoffzufuhr für die Wintergerste.

Nicht zuletzt verbessern die obengenannten Bodenbearbeitungssysteme die Standfestigkeit, die Bestandesdichte (Tebrügge et al., 1985) und somit die Ertragsleistung der angebauten Pflanzen. Die Bonitierung der eigenen Versuchsflächen belegte diese Feststellung. Jedoch fiel auf, daß die FR-Variante auf dem Standort Gießen wenig erfolgreich war. Die oben erwähnte positive Auswirkung der Rückverdichtung bei der Anwendung dieser Methode blieb vermutlich auf diesem Standort aus. Negative Folgen in Form von Verdichtung, Verschlammung und Verkrustung trugen zu Ertragseinbußen bei.

4.2.3. Mais

4.2.3.1. Standort Gießen

Der Ertrag vom Silomais auf dem Standort Gießen wurde in erster Linie durch das Bodenbearbeitungsverfahren bestimmt. Die exzellente Leistung der Pflugvariante ist an den Ertrag der ungedüngten Parzellen deutlich ersichtlich (Abb. 42). Hier brachte das Pflügen ohne Düngung mehr Frischmasse als die gedüngten FR- und Direktsaatvarianten. Für das niedrige Ertragsniveau bei der letzteren war der schlechte Feldaufgang des Maises verantwortlich. Die angewandte Sätechnik war besonders für die Direktsaatsvariante ungeeignet. Nach der Maisaussaat kam es zu einer langanhaltenden trockenen Periode. Die fehlende Pflanzendecke verstärkte die Austrocknung der Bodenoberfläche. Die nachfolgenden Regenfälle bewirkten zwar eine Verbesserung des Maisbestandes, aber der Ertrag holte nicht auf. An dieser Stelle sei betont, daß die Wurzelentwicklung des Maises besser ist in gepflügten als in ungepflügten Böden (Barber, 1971; Spielhaus, 1988; Richter et al., 1989).

4.2.3.2. Standort Bruchköbel

Im Gegensatz zum Gießener Standort führte der Pflugverzicht in Bruchköbel (Abb. 45) zu größeren Maiserträgen. Hier waren der Kolbenenertrag am höchsten bei der FR- und der Direktsaatvariante und der Strohetrag am höchsten bei der FR-Variante. Die Wasserversorgung spielte auf diesem sandigen Standort die wichtigste Rolle. Dies im Bezug sowohl auf die Freisetzung als auch auf die Aufnahme der Nährstoffe durch die Pflanzen. Der Feldaufgang vom Mais war hier besser als auf dem Standort Gießen. Auf beiden Standorten schnitt das Gießener Modell durchschnittlich besser ab als die Nmin-Methode. Dies ist an den Korn- und Stroherträgen der Direktsaat und der FR-Variante von Gießen und an dem Strohertrag der Pflugvariante von Bruchköbel ersichtlich (Abb. 46). Die gute Leistung des Gießener Modells bei den letztgenannten Bodenbearbeitungsmethoden ist ermutigend für die weitere Erforschung dieses Konzeptes zumal hier ca. 30 kg N/ha weniger empfohlen wurden als mit der Nmin-Methode.

Die verminderte Düngermenge bewirkte in den meisten Fällen eine Ertragsminderung, besonders auf dem Standort Bruchköbel. An den ungedüngten Varianten ist die Unterversorgung dieses Standortes ersichtlich. Eine Erhöhung der Düngermengen hätte sicherlich die Ertragsleistung des Gießener Modells verbessert. Das Konzept wurde hauptsächlich für Getreide (Winterweizen) entwickelt und bedarf einer Anpassung an andere Pflanzenarten (wie Mais).

4.3. Einfluß der Bodenbearbeitungs- und Düngeempfehlungsmethode auf die Pflanzenqualität

Die Untersuchung verschiedener Bodenbearbeitungskonzepte zeigte bereits deren Einfluß auf den Stickstoffgehalt der Böden (Kap. 4.1). Die logische Folge der unterschiedlichen Bodenqualität ist der Qualitätsunterschied der angebauten Pflanzen je nach Standort und Bodenbearbeitung. In diesem Kapitel werden die Gründe der Abweichung der Proteingehalte in den Pflanzen auf den drei Bodenbearbeitungsvarianten (P, FR und D) erläutert. Ferner werden die Düngungsstufen (N0, Nmin und EUF) hinsichtlich ihres Einflusses auf den Proteingehalt in den Pflanzen bewertet.

4.3.1. Winterweizen

Bezüglich des sandigen Standortes Bruchköbel wurde schon auf die bessere N-Versorgung der Direktsaatvariante hingewiesen (Kap. 4.1, 4.2). Dies spiegelte sich im Proteingehalt des Weizen wider. Sowohl das Stroh als auch das Korn enthielten unter Direktsaat am meisten Protein und am wenigsten in der Pflugvariante (Tab. 43 und 44). Diese positive Folge der besseren Versorgung des Winterweizen der Direktsaatvariante war auch auf den Standorten Ossenheim und Gießen zu beobachten (Tab. 57, 58 und 65, 66). Im letzteren Versuchsstandort war der Proteingehalt im Korn der Pflug- und der Direktsaatvariante ebenbürtig. Beide Bodenbearbeitungsvarianten waren besser mit Stickstoff versorgt als die FR-Variante (Tab. 57 und 58).

In Wernborn hingegen war eine andere Tendenz zu verzeichnen: Mit Ausnahme der Proteingehalte im Korn im Jahre 1991 (Tab. 50 und 51) enthielten die Pflanzen mit der Direktsaatvariante am wenigsten Protein (Tab. 35 und 36). Diese Feststellung bekräftigt das Argument, daß die N-Versorgung auf flachgrundigen Standorten Störungen unterliegen kann (dünne und oft schwer abbaubare Humusschicht, Auswaschung). Auf dem schweren Wernborner Boden bewirkte die Bodenbearbeitung (Pflug- und FR-Variante) eine Verbesserung der Stickstoffaufnahme und somit der Proteinbildung.

In Hassenhausen (Tab. 61 und 62) unterschieden sich die Proteingehalte bei verschiedenen Bodenbearbeitungskonzepten unwesentlich. Einerseits waren hier gute agrotechnische Voraussetzungen vorhanden (Vorfrucht: Raps, organische Düngung), andererseits ist der Boden qualitativ vorteilhafter als in Wernborn. Die Stickstoffaufnahme war bei allen drei Bodenbearbeitungskonzepten im Jahr 1991 ausgeglichen.

Die Stickstoffdüngung führte zu einer Erhöhung des Proteingehaltes der Pflanzen. Diese Zunahme ist um so bedeutender, je schwächer die bodenbürtige Versorgung ist. Im allgemeinen fiel auf, daß der Proteingehalt proportional zur Düngergabe war. Meisinger et al. (1985) fanden nur dann unterschiedliche N- Ausnutzungsstufen zwischen der Pflug- und der reduzierten Bodenbearbeitung, wenn die Stickstoffdüngergabe zum Mais unter 135 kg N/ha lag. Zu ähnlichen Ergebnissen kamen auch Bandel et al. (1975). Somit spielt u. U. die Düngeempfehlungsmethode eine untergeordnete Rolle, während der empirisch errechnete Düngerbedarf immer relevant ist.

Die durch das Düngeempfehlungskonzept hervorgerufenen Unterschiede hängen aber auch von der Gabenaufteilung ab. Es ist vornehmlich die dritte Stickstoffgabe welche die Qualitätsunterschiede bewirkt.

Durch die niedrigere Stickstoffgabe des Gießener Modells wurden mit dieser Methode niedrigere Proteingehalte als mit der Nmin-Methode erzielt. Eine Ausnahme stellte der Standort Hassenhausen dar, wo die Stickstoffgabe nach dem Gießener Modell höher als oder gleich wie nach der Nmin-Methode war. Der Proteingehalt im Korn und im Stroh war entsprechend höher. Diese Beobachtung wurde auf dem Standort Gießen (1992) nicht bestätigt. Mit Ausnahme der Pflugvariante (Korn und Stroh) und der Direktsaat (Stroh) war der Proteingehalt nach dem Gießener Modell trotz höheren Stickstoffgaben niedriger. Die Gründe dieses Tatbestandes sind weder in einer verlangsamten generativen Entwicklung durch die hohen N-Gaben noch in einer zu niedrigen Qualitätsdüngung zu suchen. Die dritte Düngergabe stand in allen Versuchsvarianten auf demselben Niveau. Eine toxische Wirkung der Stickstoffüberdüngung auf den Weizen wurde zwar nicht untersucht, kann aber nicht ausgeschlossen werden.

4.3.2. Wintergerste

Auf dem Standort Gießen schnitten erwartungsgemäß die Pflug- und die Direktsaatvariante besser ab als die FR-Variante, was den Proteingehalt der Gerste anbelangt (Tab. 31). Der Proteingehalt im Stroh der Wintergerste stellte jedoch eine Ausnahme dar (Tab. 32). Der Grund, weshalb sich die N-Versorgung der Grubbervariante lediglich auf den Proteingehalt im

Stroh auswirkt, bleibt unklar. Eine mögliche Erklärung ist, daß über die kurze Vegetationsperiode der Gerste die aufgenommene N-Menge wegen der Rückverdichtung bei FR-Bearbeitung nicht ausreichend für die generative Entwicklung war, sondern nur für die vegetative. In Hassenhausen ließ sich kein deutlicher Unterschied zwischen den drei Bodenbearbeitungsmethoden erkennen. Lediglich bei Pflugbearbeitung waren die Rohproteingehalte im Korn erhöht (Tab. 39 und 40).

Die höhere Stickstoffgabe des Gießener Modells führte zu höheren Proteingehalten sowohl in Gießen als auch in Hassenhausen. Dieser Befund ist eine weitere Bestätigung des Zusammenhanges zwischen der Düngermenge und dem Proteingehalt im Korn und im Stroh der Getreide.

4.3.3. Silo- und Körnermais

Die Proteinbildung bei Körner- und Silomais (Tab. 47 und 54) variierte je nach Bodenbearbeitungsmethode. Die Direktsaatsvariante führte sowohl in Gießen als auch in Bruchköbel zu einem etwas höheren Proteingehalt im Mais im Vergleich zur Pflug- und zur FR-Variante. Dies fiel beim Strohertrag besonders deutlich auf. Die hohe Stickstoffkonzentration im Boden, die lang anhaltende Feuchtigkeit und N-Nachlieferung liegen diesem Befund zugrunde. Laut den von Capelle und Baeumer (1985) mit Hafer durchgeführten Untersuchungen liefert der unbearbeitete Boden mehr Stickstoff an die Pflanzen als der bearbeitete nach.

Bemerkenswert ist die Feststellung, daß die Düngung nach dem Gießener Modell trotz einer reduzierten Stickstoffgabe, zu höheren Proteingehalten bei der Pflug- und der FR-Variante führte. In beiden Bodenbearbeitungsvarianten spielte die N-Gabenaufteilung die entscheidende Rolle. Auch im Getreidebau scheint Qualitätsdüngung eine Erhöhung des Proteingehaltes zu bewirken.

Bei der Direktsaatvariante hält die Wirkung der Düngung länger an als bei der Pflug- und der FR-Variante. Aus diesem Grund kommt es bei den Pflanzen mit längeren Vegetationsperioden (wie Mais) zum Ausgleich der Proteinkonzentration bei unterschiedlicher Bodenbearbeitung.

4.4. Schlußbetrachtung des Gießener Modells und der Nmin-Methode (SBA-System)

Zur Erstellung einer vertretbaren Düngebedarfsprognose wurden viele Konzepte erarbeitet und entworfen. Zu diesem Zweck wurden häufig Parameter berücksichtigt wie u.a. der Stickstoffgehalt im Boden (Wehrmann und Scharpf, 1979; Schlichting, 1986; Mengel, 1987; Nemeth et al., 1987) und in der Pflanze, das Entwicklungsstadium der Pflanze sowie die Witterung. Zahlreiche Versuche bewiesen auch die Wichtigkeit der Fruchtfolge (Neely et al., 1991), der Düngerform (Johnson und Fowler, 1991a, 1991b) und der Düngerapplikation (Moschler et al., 1973; Mengel et al., 1982; Scholten, 1992).

Die Tabelle 72 stellt eine zusammenfassende Beurteilung der EUF-Methode auf unterschiedlichen Standorten und Bodenbearbeitungsvarianten dar. Hierbei werden weder die

statistische Signifikanz noch die spezifischen Einflußfaktoren der Ertragsbildung der einzelnen Standorte erfaßt, die in früheren Kapiteln ausführlich beschrieben worden sind. Aus der Tabelle 72 ist ersichtlich, daß die EUF-Methode nach dem Gießener Modell überall dort ein besseres Verfahren ist, wo sie gleiche oder höhere Erträge erzielte als die Nmin-Methode. Grund dafür sind einerseits die gute Praktikabilität des Bodenuntersuchungsverfahrens, andererseits die reduzierten Stickstoffgaben (z.B. auf dem Standort Wernborn) beim Gießener Modell. Der Einfluß des Standortfaktors ist ersichtlich. Die EUF-Düngeempfehlung schnitt auf dem Standort Wernborn am schlechtesten und in Hassenhausen am besten ab. Die niedrigen N-Düngemengen auf dem ersten und die guten Bodenverhältnisse des zweiten Standortes sind die Gründe dieses Tatbestands. Auf den anderen Standorten waren beide Methoden ebenbürtig.

Tab. 72: Ertragsleistung des Gießener Modells auf 5 Standorten bei unterschiedlicher Bodenbearbeitung im Vergleich zur Nmin-Düngeempfehlungsmethode

| Standort | Fruchtart | EUF-N-Düngungsmethode im Vergleich zur Nmin-Methode | | |
|---------------------|-----------------------|---|------------|------------|
| | | Pflug | FR-Var | Direktsaat |
| Gießen | Wintergerste | besser | schlechter | besser |
| | Silomais | schlechter | besser | besser |
| | Winterweizen | schlechter | gleich | schlechter |
| Wernborn | Winterweizen (1.Jahr) | schlechter | schlechter | schlechter |
| | Winterweizen (2.Jahr) | schlechter | schlechter | gleich |
| Hassenhausen | Wintergerste | besser | besser | gleich |
| | Winterweizen | besser | schlechter | besser |
| Bruchköbel | Winterweizen | gleich | besser | besser |
| | Körnermais | schlechter | schlechter | schlechter |
| Ossenheim | Winterweizen | - | besser | schlechter |

Eine wichtige Rolle spielte auch die Fruchtfolge. Im Getreideanbau brachte die EUF-Düngung nach dem Gießener Modell bessere und im Maisanbau schlechtere Ergebnisse als die Nmin-Methode. Das Gießener Modell wurde für die Stickstoffdüngung im Getreide entwickelt. Bei Direktsaat wurden bessere Ergebnisse dieses Modells im Vergleich zur Nmin-Düngeempfehlungsmethode festgestellt. In der FR-Variante bzw. bei Pflugbearbeitung wurden gleiche bzw. schlechtere Erträge mit dem Gießener Modell im Vergleich zur Nmin-Methode erzielt.

4.4.1. Vor- und Nachteile der Nmin-Methode

Die Nmin-Methode bezieht sich auf den Gehalt an Nitrat im Frühjahr, gemessen in einer Bodentiefe von 0-60 bzw. 0-90 cm. Sie hat folgende Vorteile:

- Laut Wehrmann und Scharpf (1979 und 1986) ist die höchste Aussagegenauigkeit dann gegeben, wenn die Bodenuntersuchung so kurz wie möglich vor der

pflanzlichen Stickstoffaufnahme erfolgt. Die Nitratwerte vom Frühjahr stellen die aktuellen Daten dar. Die in der oberen Bodenschicht analysierte Stickstoffmenge unterliegt bis zum Vegetationsanfang kaum Änderungen.

- Die Entnahme und die Aufbereitung der Bodenproben sowie deren Extrahierung und Analyse verlaufen zügig und sind preiswert.
- Die zweite und dritte Düngergaben sind für den Landwirt vereinfacht und lassen eine gewisse Flexibilität zu, was die Höhe angeht. Laut Buchner und Sturm (1985) beträgt die dritte N-Gabe bei Getreide zwischen 50 und 70 kg N/ha.

Trotz den oben erwähnten Vorteile und der daraus resultierenden breiten Anwendung hat die Nmin-Methode viele Nachteile:

- Die Bodenproben werden in einer relativ kälteren Periode gezogen; das erhöht bei gefrorenem Boden und bei Probennahme bis 90 cm Tiefe den Arbeitsaufwand.
- Der Landwirt kann dadurch unter Zeitdruck geraten, daß die Bodenproben kurz vor dem Vegetationsbeginn erhoben werden.
- Die Methode berücksichtigt weder den Ammonium- noch den organischen Stickstoff. Dies kann unter Umständen zur Unterschätzung der Stickstoffzufuhr im Boden führen. Die Düngeprognose wird nicht zuletzt dadurch erschwert, daß die gemessenen Nitratgehalte in Abhängigkeit vom Probennahmetermen, von der Anzahl der Probennahmestellen und von der Probenaufbereitung schwanken (Aufhammer et al. 1989).
- Unter Umständen (z. B. bei starken Frühjahrsniederschlägen und sandigen Böden) kann der in tieferen Bodenschichten befindliche Stickstoff ausgewaschen und dadurch der Nitratvorrat überschätzt werden (Wehrmann et und Scharpf 1979). Allerdings es an dieser Stelle daran erinnert, daß für die hiesigen Untersuchungen die Probennahmetiefe 60 cm betrug. Somit sind die Verluste durch Auswaschung vermindert.
- Die Flexibilität bei der zweiten und dritten Düngergabe kann seitens des Landwirtes zu einer Fehldüngung führen. Meistens kommen Überdüngungen vor. Das hier angewandte SBA-System legt jedoch die oberste Grenze der Düngergabe fest, was ein wichtiger Schritt zur Vermeidung der Überdüngung ist.

4.4.2. Vor- und Nachteile des Gießener Modells

Angeht der oben erwähnten Nachteile der Nmin-Methode wird das Gießener Modell als Alternative angeboten. Es beruht auf dem Ammonium-, Nitrat- und organischen Stickstoffgehalt des Oberbodens (0-30 cm Tiefe) vom Herbst. Seine Vorteile sind die folgenden:

- Ein verminderter Arbeitsaufwand. Die Bodenproben werden nur bis 30 cm Tiefe in noch ungefrorenem Boden gezogen.

- Nach einer Probennahme im Spätherbst verfügt der Landwirt über genügend Zeit für die Planung der Düngung.
- Die Methode berücksichtigt neben dem mineralischen Stickstoff auch die mit der EUF-Methode extrahierbare organische Stickstofffraktion. Somit kann eine Unterschätzung der verfügbaren Stickstoffmenge vermieden werden. Die EUF-Norg-Fraktion, so Nemeth (1985), Mengel (1987), Appel und Mengel (1990) sowie Ziegler et al. (1992), spielt eine wichtige Rolle in der Stickstoffversorgung der Kulturpflanzen. Daher sollte sie bei der N-Düngeprognose nicht vernachlässigt werden.
- Unter günstigen Boden- und Klimabedingungen ist es kaum möglich, daß der im Herbst gemessene Stickstoff unterhalb des Wurzelraumes ausgewaschen wird. Der Verlauf des Winters ist allerdings in dieser Hinsicht entscheidend: Je milder die winterlichen Temperaturen sind, desto höher ist die Gefahr einer falschen Prognose.
- Die aufbereiteten Bodenproben können ohne Risiken und zusätzlichen Aufwand bewahrt werden. Sie werden getrocknet und müssen daher nicht tiefgekühlt werden.
- Der Landwirt bekommt genaue Empfehlungen zur zweiten und zur dritten Düngergabe. Durch die Begrenzung dieser N- Gaben kann eine Überdüngung vermieden werden.

Bei der Anwendung des Gießener Modells stößt man jedoch auch auf Nachteile:

- Die Aufbereitung der Bodenproben verlangt schnelles und präzises Handeln, was die Trocknungstemperatur und -dauer anbelangt. Der Nitratgehalt, bestimmt nach CaCl_2 -Extrahierung, nahm bei Lufttrocknung signifikant zu und bei Trocknung bei 105°C ab (Barekzai und Mühling, 1992). Er stimmte nach Trocknung bei 40°C mit dem feldfeuchten Nitratgehalt überein.
- Die zur Extraktion angewendeten EUF-Geräte können Probleme bereiten. Sie weisen viele Schwankungen auf, wenn ihre Temperatur und der pH-Wert den Normen nicht entsprechen, und können die Gehalte an extrahiertem organischen und anorganischen Stickstoff beeinflussen. Mengel (1991) empfiehlt eine Verbesserung des EUF-Gerätes, um eine schnelle Extraktion und eine bessere Reproduzierbarkeit der Daten zu gewährleisten.
- Die in den EUF-Geräten benutzten Filter sind teuer und verlangen für eine optimale Leistung eine präzise Vorbereitung. Eine sorgfältige Handhabung ist erforderlich. Die Filter müssen vor der Benutzung gut eingeweicht und auf eventuelle Löcher genau überprüft werden.
- Der im Herbst im Boden befindliche Stickstoff kann unter Umständen (milder Winter, viele Niederschläge, leichte oder flachgründige Böden etc.) ausgewaschen werden. Dadurch kann der Stickstoffvorrat überschätzt werden.
- Nach Vorfrüchten wie Mais und Zuckerrüben sowie nach Zwischenfrüchten oder organischer Düngung ist die N-Nachlieferung bei einer Herbstbeprobung nur schwer

abschätzbar; es besteht hier die Gefahr, sie zu unterschätzen und folglich zuviel zu düngen. Die Gabenaufteilung kann daher Probleme bereiten. Nach Güllödung schlossen Werner et al. (1989) die Verbesserung der Düngerbedarfsprognose bei Einbeziehung der leicht mobilisierbaren Norg-Fraktion aus. Olf et al. (1990) halten die Abschätzung des Nachlieferungspotentials nur dann für möglich, wenn der Mineralisations-Immobilisations-Zyklus ausgeglichen ist.

- Beim Anbau von Sommerfrüchten ist eine Anpassung des Beprobungstermins und des Empfehlungskonzeptes unverzichtbar. Der Termin sollte möglichst verzögert und die abzuziehende Norg-Menge bei der Empfehlung zur zweiten und dritten Düngergabe angepaßt werden.

4.5. Schlußbetrachtung der Bodenbearbeitung

Anhand der vorliegenden Untersuchungen kann keine Faustregel für die Auswahl der zu praktizierenden Bodenbearbeitungsmethode angegeben werden. Sowohl das Pflügen als auch der Pflugverzicht (FR- und Direktsaatvariante) haben sich unter Berücksichtigung bestimmter Bedingungen und Ereignisse als erfolgreich erwiesen. Bevor man eine Entscheidung über das Pflügen oder das Nicht-Pflügen fällt, sollten folgende Gegebenheiten genau betrachtet werden: die Lage der Ackerfläche, die Bodenart, die Witterung, die Fruchtfolge, die Umwelt und die wirtschaftliche Lage.

Lage der Ackerfläche: In Hanglagen ist ein Pflugverzicht sinnvoll. Er vermindert den Bodenabtrag und schützt somit die Humusschicht (Baeumer und Bakermann, 1973; Diez et al. 1988; Blevins et al., 1990).

Bodenart: In sandigen Böden führt das Pflügen zu einer schnellen Mineralisation. Angesichts der hohen Auswaschungsgefahr sollte zum Schutz der Nährstoffe vor der Auswaschung die reduzierte Bodenbearbeitung bzw. die Direktsaat praktiziert werden. Zugleich bleibt bei den letztgenannten Methoden die Bodenfeuchte erhalten. Dies trägt wesentlich zur Ertragssteigerung in Sandböden bei.

Tonreiche grundwasserbeeinflusste Böden, wie der Gießener Auenboden reagieren beim Pflügen auf starke Niederschläge mit Verschlammung und auf Trockenheit mit Verkrustung. Unter solchen Bedingungen führt eine gute Nährstoffversorgung nicht immer zu einer Ertragssteigerung, zumal beim Pflügen die Entstehung von anaeroben Bedingungen und daraus resultierende Denitrifikationsverluste nicht auszuschließen sind. Auf diesen Böden ist die Direktsaat empfehlenswert.

Bei schweren Böden ist der Aufgang mancher Pflanzen (z.B. Mais oder Raps) beim Pflugverzicht erheblich vermindert. Sollte der schwere Boden flach sein, so kann die Direktsaat zu einer Unterversorgung der Pflanze (dünne Humusschicht, Erosionsgefahr) führen.

Witterung: Die Berücksichtigung der Witterung ist wegen der Temperatur und der Niederschlagsmenge unentbehrlich. Die Wirkung beider Faktoren hängt von den edaphischen Bedingungen ab. Bei geringen Niederschlägen und hohen Temperaturen ist die Direktsaat bei

schweren Böden nachteilig (Verhärtung der Oberfläche, starke Bindung des Bodenwassers) und bei Sandböden vorteilhaft (Erhaltung der Bodenfeuchte, Schutz vor der Winderosion).

Was die Bodentemperatur anbelangt, so ist bemerkenswert, daß die Direktsaatvariante sich langsamer erwärmt und die Vegetation mit einer gewissen Verspätung einsetzt. Diese Tatsache muß in bezug auf die agrotechnischen Tätigkeiten (Düngung, Pflanzenschutz, Ernte etc.) beachtet werden. Eine Verspätung wird von Thomas et al. (1979) im Bezug auf die Stickstoffdüngung als positiv bewertet. Durch die langsame, aber kontinuierliche Mineralisation wird der Stickstoff gleichmäßig angeboten und es kann entsprechend weniger Stickstoff gedüngt werden. Die Düngereffekte halten lang an. Auch die Kalkung sollte bei der pfluglosen Bodenbearbeitung bedacht werden. Bei der Direktsaat ist eine leichte Versauerung des Bodens zu verzeichnen. Seifert (1988) empfiehlt niedrige Kalziumgaben, Verzicht auf Brandkalk sowie Bevorzugung von karbonatischen und silikatischen Kalksalzen.

Fruchtfolge: Erfahrungsgemäß gibt es Fruchtarten wie Mais und Raps, die bei Direktsaat mit einem schlechten Feldaufgang reagieren können. Grund dafür sind die Hindernisse beim Säen. In diesem Fall muß eine Nachsaat stattfinden oder die Sätechnik verbessert werden. Bei generellem Verzicht auf den Pflug, so Schmidt (1989), sind die technisch und finanziell aufwendigeren Scheibenschare für eine qualitativ hochwertige Saatgutablage unabdingbar.

Umwelt: Angesicht des reduzierten Maschinenansatzes, der verminderten Erosionsgefahr und der eventuellen Einsparung an Düngemittel ist der Pflugverzicht (insbesondere die Direktsaat) für eine umweltbewußte Landwirtschaft zu empfehlen. Nach allgemeinen Beobachtungen weist das Grundwasser eine bessere Qualität (Mostaghini et al., 1992) und weniger Nitrat (Angle et al., 1993) unter der Direktsaatsvariante im Vergleich zur Pflugvariante auf. Eine Streitfrage bleibt nach wie vor der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln. Einerseits wird der chemische Pflanzenschutz verstärkt angewendet, andererseits ist seine Nachwirkung dank des schnelleren Stoffabbaus unter Direktsaatabedingungen geschwächt (Bräutigam, 1990a; Düring und Hummel, 1992).

Wirtschaft: Der Pflugverzicht, vor allem die Direktsaat, genießt zweifellos eine größere Wirtschaftlichkeit überall da, wo sie gleiche oder höhere Erträge erbringt als bei Bodenbearbeitung. Neben der Einsparung an Geld (Tebrugge, 1987) werden der Boden geschont und Zeit gespart.

5. Zusammenfassung und Schlußfolgerung

5.1 Zusammenfassung

Auf fünf hessischen Standorten wurden langjährige Bodenuntersuchungsversuche mit unterschiedlichen Bodenbearbeitungsvarianten angelegt. Der Boden der Standorte wurde zwischen 1989 und 1992 auf den Gehalt an verschiedenen N-Fractionen untersucht. Aus den Meßwerten wurden Stickstoffdüngempfehlungen nach dem Gießener Modell, basierend auf der EUF-Methode, sowie nach der Nmin-Methode (SBA) abgeleitet. Der Ertrag (Korn und Stroh) der angebauten Kulturpflanzen und der Rohproteingehalt im Pflanzenmaterial der jeweiligen Versuchsvarianten wurden miteinander verglichen. Die Ergebnisse machten deutlich, daß der Erfolg unterschiedlicher Bodenbearbeitung und Düngung standort- und kulturartabhängig ist. Auf dem Gießener Auenstandort und dem skeletthaltigen Boden von Wernborn im Taunus war die Pflugvariante am besten mit Stickstoff (mineralische und organische Fraktion) versorgt. Die Direktsaatvariante des gut strukturierten Bodens von Hassenhausen und des sandigen Standorts Bruchköbel enthielt am meisten Stickstoff. Beide genannten Bodenbearbeitungsvarianten waren bis auf wenige Ausnahmen besser mit Stickstoff versorgt als die Grubbervariante (FR).

Die Untersuchungen bewiesen, daß der Gehalt des Bodens an fixiertem Ammonium in Abhängigkeit von Standort und Bodenbearbeitung variierte. Der Vergleich zwischen Pflugbearbeitung und Direktsaat zeigte unterschiedliche Konzentrationen des fixierten Ammoniums im Herbst, im Frühjahr und im Sommer. Die Ab- bzw. Zunahme des Gehaltes dieser Fraktion läßt die Vermutung zu, daß sie eine Rolle bei der N-Versorgung der untersuchten Standorte (Gießen, Wernborn und Hassenhausen) gespielt hat.

Die aus der differenzierten Bodenbearbeitung resultierende unterschiedliche N-Versorgung der Böden beeinflusste die Stickstoffdüngeprognose. Häufig wurde mit der Düngung nach dem Gießener Modell weniger Stickstoff gedüngt als mit der Nmin-Methode. Diese Einsparung an Düngemitteln verursachte nur selten eine Minderung der Effizienz der Düngung. Ohne Berücksichtigung der statistischen Signifikanzen wurde in 49 % der Vergleiche ein höherer Kornерtrag mit der Nmin-Düngung erzielt als mit dem Gießener Modell. Zugunsten des letzteren gingen 38 % der Fälle. In 13 % der Fälle waren beide Düngempfehlungskonzepte ebenbürtig. Hier spielte zusätzlich zu den edaphischen Bedingungen auch die Fruchtart eine wesentliche Rolle. Angesicht der methodischen Vorteile des Gießener Modells sprechen die vorliegenden Ergebnisse für die N-Düngempfehlung nach der EUF-Methode (Gießener Modell).

Die Untersuchungen bewiesen, daß der Rohproteingehalt der Pflanzen mit der Höhe der N-Düngergabe stieg.

Überwiegend bestand kein gesicherter Ertragsunterschied bei unterschiedlicher Bodenbearbeitung. Dennoch wurden häufig- im Vergleich zur Pflug- und zur Grubbervariante (FR)- höhere Erträge bei Direktsaat erzielt.

5.2 Schlußfolgerung

Die Ergebnisse der in dieser Arbeit durchgeführten Untersuchungen und Beobachtungen führen zu den folgenden Schlußfolgerungen:

1. Der Stickstoffhaushalt wird nachhaltig von der Bodenbearbeitung beeinflusst. Je nach Bodenbearbeitungsmethode (Pflug, Flügelschar mit Rotoregge oder Direktsaat) liegen unterschiedliche Mengen an Stickstoff im Boden vor. Das Verhältnis verschiedener Stickstofffraktionen ändert sich dem Bodenbearbeitungskonzept entsprechend. Während eine Anreicherung der oberen Bodenschicht (0 bis 15 cm Tiefe) bei der Direktsaat- und der FR-Variante auffällt, findet in gepflügten Böden entsprechend der Tiefe der gepflügten Bodenkrume eine Anhäufung der Nährstoffe im Unterboden statt.
2. Die durch die Bodenbearbeitung hervorgerufenen Qualitätsänderungen des Bodens werden in der Ertragsbildung zum Ausdruck gebracht. Die Direktsaatvariante bietet die besten Voraussetzungen für Ertragssteigerung und-stabilität. Diese Beobachtung fällt besonders im Getreidebau auf.
3. Angesichts des veränderten Stickstoffhaushaltes bei reduzierter Bodenbearbeitung und Direktsaat ist die zu düngende Stickstoffmenge verändert. Da bei der Direktsaat die N-Dünger besser ausgenutzt werden, ist eine Einsparung an Düngemittel möglich.
4. Bei einer Düngeempfehlung ist ungeachtet der Bodenbearbeitungsmethode die Berücksichtigung der Norg-Fraktion wie beim Gießener Modell sinnvoll. Es besteht kein Zweifel daran, daß diese Stickstofffraktion reichlich vorhanden sein und der Pflanze zugute kommen kann. Damit die potentielle Nachlieferung aus der Norg-Fraktion unterschiedlicher Böden genau geschätzt werden kann, sind weitere Untersuchungen erforderlich.
5. Bei normalen Witterungsverhältnissen und bei Berücksichtigung der agrotechnischen Gegebenheiten stellt das Gießener Modell eine praktische und zuverlässige Alternative zur Nmin-Methode dar.
6. Der Mais in der Fruchtfolge erfordert eine Anpassung des Gießener Modells. Dasselbe gilt für andere Kulturpflanzen, die reichlich Pflanzenreste hinterlassen, sowie bei Zwischenfrucht- oder Gründungsanbau.

Danksagung

Meine ersten Dankworte gelten Herrn Prof. Mengel. Selten trifft man Menschen, die wie Herr Prof. Mengel fähig sind, eine so große fachliche und gesellschaftliche Kompetenz mit einer ausgeprägten menschlichen Einfühlsamkeit zu verbinden. Ich danke Ihm vom ganzen Herzen für die umfangreiche Beratung und Hilfe.

Ebenso bedanke ich mich bei Herrn Prof. Harrach für die Verbesserungen in meiner wissenschaftlichen Arbeit und seine begleitende Beratung in der Schlussphase der Promotion.

Ich danke auch Frau Prof. Otte, Herrn Prof. Sauerborn und Herrn Prof. Ottow dafür, dass sie die Beendigung dieser Arbeit zu einer Realität gemacht haben.

Herzlichen Dank an allen Mitarbeiter des Instituts für Pflanzenernährung der Justus-Liebig-Universität Gießen. Insbesondere danke ich Frau Dr. Hütsch und Herrn Dr. Barekzai für ihren tatkräftigen Beistand und ihre Hilfe bei der Planung und der Durchführung des Forschungsvorhabens.

Ich danke Herrn Dr. Tebrügge und dem gesamten Institut für Landtechnik, sowie der Firma Agrotechnik sowohl für ihre technische als auch ihre finanzielle Hilfe während und nach Ablauf des Forschungsprojektes.

Vielen Dank an Thierno, Sori und der Familie Schmitt-Dossou für ihre moralische Unterstützung.

Literaturverzeichnis

- Andren, O.; Rajkai, K. and Kätterer, Th.** (1993): *Water and temperature dynamics in a clay soil under winter wheat influence on straw decomposition and N- Immobilization.* Biol. Fertil. Soils 15: 1- 8.
- Angle, J. S.; Gross, C. M.; Hill, R. L. and Mc Intosh, M. S.** (1993): *Soil nitrate concentrations under corn as affected by tillage, manure and fertilizer applications.* J. Environ. Qual. 22: 141- 147.
- Appel, Th. und K. Mengel** (1990): *Importance of organic nitrogen fractions, obtained by Electro-Ultrafiltration, for nitrogen mineralisation and nitrogen uptake of rape.* Biol. Fertil. Soils 10: 97-101.
- Appel, Th.** (1991): *Der Stickstoff-Umsatz in Sandböden und seine Bedeutung für die Prognose des pflanzenverfügbaren Stickstoffs sowie des N-Düngerbedarfs von Getreide, untersucht mittels Elektro-Ultrafiltration (EUF) und CaCl₂-Extraktion.* Dissertation, Justus-Liebig-Universität Gießen.
- Appel, Th. und Mengel, K.** (1992): *Nitrogen fractions in sandy soils in relation to plant nitrogen uptake and organic matter incorporation.* Soil Biol. Biochem. 25: 685-691.
- Arah, J. R. M.; Smith, K. A.; Crichton, I. J. and Li, H. S.** (1991): *Nitrous oxide production and denitrification in Scottish arable soils.* J. Soil Sci. 42: 351- 367.
- Abheuer, Th.; Schäfer- Pregl, R. und Rößner, J.** (1992): *Vertikalverteilung von Nematoden im Boden unter dem Einfluß verschiedener Bodenbearbeitungssysteme.* Symposiumsband "Wechselwirkung von Bodenbearbeitungssystemen auf das Ökosystem Boden", Gießen, S. 147-164.
- Aufhammer, W.; Federolf, K.- G.; Kempf, H.; Kübler, E. und Stutzel, H.** (1989): *Variabilitätsursache und Aussagemöglichkeit der Nmin- Methode.* Landw. Forsch. 42: 281-292.
- Aulakh, D. A.; Rennie, D. A. and Paul, E. A.** (1984): *The influence of plant residues on denitrification rates in conventional and zero tilled soils.* Soil Sci. Soc. Am. J. 48: 790- 794.
- Aulakh, M. S.; Rennie, D. A. and Paul, E. A.** (1984): *Gaseous nitrogen losses from soils under zero - till as compared with conventional till management systems.* J. Environ. Qual. 13: 130- 136.
- Baeumer, K. and Bakermans, W. A. P.** (1973): *Zero - tillage.* Adv. Agron. 25: 77-123.
- Bandel, V. A.; Dzienia, S.; Stanford, G. and Legg, J. O.** (1975): *N- behavior under no-till vs conventional corn culture. First year results using unlabeled N-fertilizer.* Agron. J. 67: 782- 786.
- Barber, S. A.** (1971): *Effect of tillage practice on corn (Zea mais L.) root distribution and morphology.* Agron. J. 63: 724- 726.
- Barekzai, A. und Mühling, K.H.** (1992): *Einfluß der Trocknungsdauer und Trocknungstemperatur von Bodenproben auf ihren Gehalt an CaCl₂-extrahierbaren N-Fractionen sowie deren Beziehung zur N-Aufnahme der Pflanze.* Agribiol. Res. 45: 153-158.
- Barekzai, A.; Steffens, D.; Bohring, J. und Engels, Th.** (1992): *Prinzip und Überprüfung des Gießener Modells zur N-Düngeempfehlung bei Wintergetreide mit Hilfe der EUF-Methode.* Agribiol. Res. 45: 65-76.

- Beer, K.; Koriath, H. und Podlesak, W. (1990):** *Organische und mineralische Düngung*. 1. Auflage, Deutscher Landwirtschaftsverlag Berlin.
- Blevins, R.L. (1984):** *Soil adaptability for no-tillage*. Van Nostrand Reinhold Company, "No-Tillage Agriculture, Principles and Practices", New York, PP. 42-85.
- Blevins, R. L.; Frye, W. W.; Baldwin, P. L. and Robertson, S. D. (1990):** *Tillage effects on sediment and soluble nutrient losses from Maury silt loam soil*. J. Environ. Qual. 19: 683- 686.
- Blevins, R.L.; Smith, M.S. and Thomas, G.W. (1984):** *Changes in soil properties under noillage*. Van Nostrand Reinhold Company, "No-Tillage Agriculture, Principles and Practices", New York, PP. 190-225.
- Böhm, H. und Ahrens, E. (1989):** *Die Nitratreduktase-Aktivität in Abhängigkeit von langjährig differenzierter Bodenbearbeitung*. VDLUFA Schriftenreihe 30: 497-502.
- Böhm, H. und Ahrens, E. (1989):** *Protease-Aktivität und N-Mineralisation bei langjährig differenzierter Bodenbearbeitung*. Symposiumsband "Wechselwirkung von Bodenbearbeitungssystemen auf das Ökosystem Boden ". Gießen, S. 63-73.
- Böhm, H. und Ahrens, E. (1990):** *Die Stickstoffmineralisation in Beziehung zur Protease-Aktivität langjährig differenzierter Bodenbearbeitung auf fünf verschiedenen Standorten*. VDLUFA Schriftenreihe 32: 683-688.
- Bräutigam, V. (1990a):** *Fruchtfolgekrankheiten und Beikrautflora*. Symposiumsband "Wechselwirkung von Bodenbearbeitungssystemen auf das Ökosystem Boden ". Gießen, S. 41-52.
- Broder, M.W.; Doran, J. W.; Peterson, G.A. and Fenster, C.R. (1984):** *Fallow tillage influence on spring populations of soil nitrifiers, denitrifiers and available nitrogen*. Soil Sci. Soc. Am.J. 48: 1060-1067.
- Buchner, A. und Sturm, H. (1985):** *Gezielter düngen*. 2.Auflage, DLG-Verlag, Frankfurt am Main.
- Buchner, W. und Köller, K. (1990):** *Integrierte Bodenbearbeitung*. Ulmer, Stuttgart.
- Burford, J. R.; Dowdel, R. J. and Crees, R. (1981):** *Emission of nitrous oxide to the atmosphere from direct drilled and ploughed clay soils*. J. Sci. Food Agric. 32: 219-223.
- Campbell, C. A.; Zentner, R. P.; Selles, F.; Mc Conkey, B. C. and Dyck, F. B. (1993):** *Nitrogen management for spring wheat grown annually on zero-tillage: yield and nitrogen use efficiency*. Agron.- J. 85: 107-114.
- Capelle, A. und Baeumer, K. (1985):** *Zum Verbleib von Düngestickstoff (N^{15}) im System Boden-Pflanze-Atmosphäre auf bearbeiteter und unbearbeiteter Acker-Parabraunerde aus Löß*. Landw. Forsch. 38: 1-2.
- Chalk, P. M.; Smith, C. J.; Hamilton, S. D. and Hopmans , P. (1993):** Characterization of the benefit of a grain legume (*Lupinus angustifolius* L.) to a cereal (*Hordeum vulgare* L.) by an in situ N^{15} isotope dilution technique. Biol. Fertil. Soils 15: 39-44.
- Chichester, F. W. and Richardson, C. W. (1992):** *Sediment and nutrient loss from clay soils as affected by tillage*. J.- Environ.- Qual. 21: 587-590.
- Cochran, V. L.; Elliot, L. F. and Papendick, R. I. (1980):** *Carbon and nitrogen movement from surface- applied wheat straw*. Soil Sci.Soc. Am. J. 44: 978-982.
- Craswell, E.T.and Godwin, D.C. (1984):** *The efficiency of nitrogen fertilizers applied to cereals in different climates*. Adv. Plant Nutr. 1: 1-55.

- Debruck, J.** (1971): *Bodenbearbeitung und Direktsaat auf schwach pseudogleyser Parabraunerde*. Landw. Forsch. 26: 230-244.
- Dick, W. A.** (1983): *Organic carbon, nitrogen and phosphorus concentrations in soil profiles as affected by tillage intensity*. Soil Sci. Soc. Am. J. 47: 102-107.
- Dick, W. A.** (1984): *Influence of long-term tillage and crop rotation combinations on soil enzyme activities*. Soil Sci. Soc. Am. J. 48: 569-574.
- Diez, Th.; Kreitmayr, J. und Weigelt, H.** (1988): *Einfluß langjähriger pflugloser Ackerbewirtschaftung (System Horsch) auf Pflanzenwachstum, Wirtschaftlichkeit und Boden*. Bay. Landw. Jahrb. 65: 789-812.
- Doran, J. W.** (1980): *Microbial changes associated with residue management with reduced tillage*. Soil Sci. Soc. Am. J. 44: 518-524.
- Doran, J. W.** (1980): *Soil microbial and biochemical changes associated with reduced tillage*. Soil Sci. Soc. Am. J. 44: 765-771.
- Dowdell, R. J. and Cannel, R. G.** (1975): *Effect of ploughing and direct drilling on soil nitrate content*. J. Soil Sci. 26: 53-61.
- Dowdell, R. J.; Crees, R. and Cannel, R. G.** (1983): *A field study of effects of contrasting methods of cultivation on soil nitrate content during autumn, winter and spring*. J. Soil Sci. 34: 367-379.
- Dowdell, R. J.; Colbourn, P. and Cannel, R. G.** (1983): *A study of mole drainage with simplified cultivation for autumn-sown crops on a clay soil. Losses of nitrate - N in surface run-off and drainwater*. Soil Till. Res. 9: 317-331.
- Dressler, A. and Mengel, K.** (1985): *Bedeutung des peripheren spezifisch gebundenen NH_4^+ vom Löß- und Alluvialböden für die N- Düngerbedarfsermittlung*. VDLUFA-Schriftenreihe 16: 137-146.
- Drury, C. E. and Beauchamp, E.G.** (1991): *Ammonium fixation, release, nitrification and immobilization in high- and low-fixing soils*. Soil Sci. Soc. Am. J. 55: 125-129.
- Dumbeck, G.** (1986): *Bodenphysikalische und funktionelle Aspekte der Packungsdichte von Böden*. Dissertation, Justus-Liebig-Universität. Gießen.
- Düring, R. und Hummel, H. E.** (1992): *Die Bodenbearbeitung als Einflußfaktor auf den Verbleib der Herbizide Isoproturon und terbuthylazin im Boden*. Symposiumsband "Wechselwirkung von Bodenbearbeitungssystemen auf das Ökosystem Boden ". Gießen, S. 177-190.
- Eck, H.V. and Jones, O. R.** (1992): *Soil nitrogen status as affected by tillage, crops and crop sequences*. Agron. J. 84: 660-668.
- Edwards, W. M.; Norton, L. D. and Redmond, C. E.** (1988): *Characterizing macropores that affect infiltration into non-tilled soil*. Soil Sci. Soc. Am. J. 52: 483-487.
- Ehlers, W.** (1973): *Strukturzustand und zeitliche Änderung der Wasser- und Luftgehalt während einer Vegetationsperiode in unbearbeiteter und bearbeiteter Löß-Parabraunerde*. Zentrum Acker-und Pflanzenbau 137: 213-232.
- Ehlers, W.** (1975): *Observations on earthworm channels and infiltration on tilled and untilled loess soil*. Soil. Sci. 119: 242-249.
- Eileen, J.; Kladvik and Keeney, R.** (1987): *Soil nitrogen mineralization as affected by water and temperature interaction*. Biol. Fertil. Soils 5: 248-252.
- El- Hariz, M. K.; Cochran, V.L.; Elliott, L. F. and Bezdicek, D. F.** (1983): *Effect of tillage, cropping and fertilizer management on soil nitrogen mineralization potential*. Soil Sci. Soc. Am. J. 47: 1157-1161.

- Estler, M. und Knittel, H.** (1984): *Praktische Bodenbearbeitung*. 2. Auflage. DLG-Verlag, Frankfurt a. Main.
- Estler, M.; Knittel, H. und Zeltner, E.** (1984): *Bodenbearbeitung aktuell*. DLG-Verlag, Frankfurt a. Main.
- Fiedler, H.J.** (1990): *Bodennutzung und Bodenschutz*. Birkhäuser Verlag, Basel-Boston-Berlin.
- Finck, A.** (1992): *Dünger und Düngung*. 2. Auflage. VCH Verlagsgesellschaft mbH. Weinheim.
- Fischer, D.** (1990): *Empfehlungen für die Düngung von Acker- und Grünland nach Bodenuntersuchung*. 5. verbesserte Auflage. Landwirtschaftskammer Rheinland, Bonn.
- Fleige, H.** (1975): *Veränderungen der C- und N-Gehalte sowie der N-Fractionen in unbearbeiteter Acker-Parabraunerde aus Löß*. Göttinger Bodenkundl. Ber. 34: 215-231.
- Follet, R. F. and Peterson, G. A.** (1988): *Surface soil nutrient distribution as effected by wheat-fallow tillage system*. Soil Sci. Soc. Am. J. 52: 141-147.
- Follet, R. F. and schimel, D. S.** (1989): *Effect of tillage practices on microbial biomass dynamics*. Soil Sci. Soc. Am. J. 53: 1091-1096.
- Friebe, B.** (1989): *Meso- and Macrofaunal abundance of arable soils in dependence of different tillage systems*. Verh. Gesellsch. Ökol. 19(1): 73-74.
- Friebe, B.** (1992): *Strohabbau im Ackerboden in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung*. Symposiumsband "Wechselwirkung von Bodenbearbeitungssystemen auf das Ökosystem Boden". Gießen, S. 131-138.
- Friebe, B.** (1992): *Regenwürmer und deren Abbauleistung bei abnehmender Bearbeitungsintensität*. Symposiumsband "Wechselwirkung von Bodenbearbeitungssystemen auf das Ökosystem Boden". Gießen, S. 139-146.
- Friebe, B.** (1992): *Entwicklung der Makro und Mesofauna unter dem Einfluß langfristig differenzierter Bodenbearbeitung*. Symposiumsband "Wechselwirkung von Bodenbearbeitungssystemen auf das Ökosystem Boden". Gießen, S. 117-130.
- Granatstein, D. M.; Bezdicsek, D. F.; Cochran, V. L.; Elliot, L. F. and Hammel, J.**(1987): *Long-term-tillage and rotation effects on soil microbial biomass, carbon and nitrogen*. Biol. Fertil. Soils 5: 265-270.
- Grocholl, J. und Ahrens, E.** (1990a): *Einfluß langjähriger differenzierter Bodenbearbeitung auf die mikrobielle Aktivität eines schluffigen Lehmes und eines schluffigen Sandes*. VDLUFA Schriftenreihe 30: 491-496.
- Grocholl, J.; Böhm, H. und Ahrens, E.** (1989): *Einfluß unterschiedlicher Bodenbearbeitungssysteme auf die bodenmikrobiologische Kennzahl und den Ct-Gehalt verschiedener Bodenarten und Standorte*. Symposiumsband "Wechselwirkung von Bodenbearbeitungssystemen auf das Ökosystem Boden". Gießen, S. 53-62.
- Grocholl, J. und Ahrens, E.** (1990): *Beziehungen zwischen Enzymaktivitäten, Biomassegehalten und Bodenkennwerten in Abhängigkeit von langjähriger differenzierter Bodenbearbeitung*. VDLUFA Schriftenreihe 32: 689-694.
- Groffman, P. M.** (1984): *Nitrification and denitrification in conventional and no-tillage soils*. Soil Sci. Soc. Am. J. 49: 329-334.

- Groffman, P. M.; Hendrix, P. F. and Crossley Jr, D. A. (1987):** *Nitrogen dynamics in conventional and no-tillage agroecosystems with inorganic fertilizer or legume nitrogen inputs.* Plant and Soil 97: 315-332.
- Groß, U. (1992):** *Dynamik der Bodenoberfläche nach langjährig differenzierter Bodenbearbeitung.* Symposiumsband "Wechselwirkung von Bodenbearbeitungssystemen auf das Ökosystem Boden". Gießen, S. 31-42.
- Hartge, K.H. (1991):** *Forschungsbedarf im Zusammenhang mit der Meß- und Voraussagbarkeit von Elementen und Prozessen der Bodenfruchtbarkeit: Bodenphysikalische Prozesse.* Band 1: Bodenfruchtbarkeit, 134-143.
- Havlin, J. L.; Kissel, D. E.; Maddux, L. D.; Claassen, M. M. and Long, J.H. (1990):** *Crop rotation and tillage effects on soil organic carbon and nitrogen.* Soil Sci.Soc. Am. J. 54: 448-452.
- Henke, W. (1989):** *Lumbriciden und deren Aktivität bei differenzierter Bodenbearbeitung.* Symposiumsband "Wechselwirkung von Bodenbearbeitungssystemen auf das Ökosystem Boden". Gießen, S. 99-108.
- Heyland, K.U. und Kochs, H.J. (1984):** *Computerberatung zur schlagspezifischen Vorausschätzung der Stickstoffverfügbarkeit für Weizen.* Vortragsreihe der Hochschultagung der Landwirtsch. Fakultät Bonn, S:125-139.
- Horn, D. (1990):** *Die Herstellung eines Stickstoffdüngungsmodells für Mais auf der Basis von Feldversuchen und der Elektro-Ultrafiltrationsmethode.* Dissertation, Justus-Liebig-Universität Gießen.
- Houba, G.J.V; Novozamsky, I. und van der Lee J.J. (1990):** *Some aspects of determination of nitrogen fractions in soil extracts.* VDLUFA-Schriftreihe 30: 305-132.
- Hütsch, B. (1991):** *Einfluß differenzierter Bodenbearbeitung auf die Stickstoffdynamik im Boden in Abhängigkeit von Beprobungstermin und Standort, unter besonderer Berücksichtigung von N-Freisetzung, Nitratverlagerung und Denitrifikation.* Dissertation, Justus-Liebig-Universität Gießen.
- Hütsch, B. und Mengel, K. (1991):** Messung von Denitrifikationsverlusten bei Pflugbearbeitung und Direktsaat. Z. Kulturtech. Landentw. 32: 70- 79.
- Hütsch, B. and Mengel, K. (1992):** Effect of long- term ploughing and direct drilling on the distribution and leaching of mineral nitrogen in a loamy and sandy soil. Eur. J. Agron. 1: 213- 219.
- Hütsch, B. und Steffens, D. (1992):** *Einfluß differenzierter Bodenbearbeitung auf die vertikale Verteilung von verfügbarem Phosphat und Kalium im Profil von vier unterschiedlichen Bodentypen.* Agribiol. Res. 45: 352-359.
- Hütsch, B. und Mengel, K. (1993):** *Effect of different soil cultivation systems, including no-tillage, on electro-ultrafiltration extractable organic nitrogen.* Biol. Fertil. Soils 16: 233-237.
- Johnson, A. M. and Fowler, D. B. (1991a):** *No-till winter wheat production: response to spring applied nitrogen form and placement.* Agron. J. Madison, Wis. Am. Soc. of Agron. 83: 722-728.
- Johnson, A. M. and Fowler, D. B. (1991b):** *No-till winter wheat dry matter and tissue nitrogen response to nitrogen fertilizer form and placement.* Agron. J. 83: 1035-1043.
- Jung, J.; Dressel, J. und Henjes, G. (1980):** *Untersuchungen zur Stickstoffmineralisierung aus Rübenblatt in zwei verschiedenen Böden im Gefäßversuch.* Z. Acker- und Pflanzenbau 149: 183-190.

- Kahnt, G.** (1971): *N P K- und C- Veränderungen auf drei Bodentypen nach fünf Jahren pfluglosen Ackerbau*. Fachgruppe Pflanzenproduktion, Acker- und Pflanzenbau, Universität Hohenheim. Landw. Forsch. 26: 273-280.
- Kané, Y. und Mengel, K.** (1992): *Vergleichende Untersuchungen zur Stickstoffdüngempfehlung bei unterschiedlicher Bodenbearbeitung*. Symposiumsband "Wechselwirkung von Bodenbearbeitungssystemen auf das Ökosystem Boden". Gießen, S. 105-115.
- Kemner, K.** (1983): *Pflügen im Wettbewerb*. Ulmer Verlag, Stuttgart.
- Kitur, B. K.; Smith, M. S.; Blevins, R. L. and Frye, W. W.** (1983): *Fate of N^{15} -depleted ammonium nitrate applied to no-tillage and conventional tillage corn*. Agron. J. 76: 240-242.
- Kohl, R.** (1989): *Einfluß langjähriger differenzierter Bodenbearbeitung auf die Nitratverlagerung im Boden*. Symposiumsband "Wechselwirkung von Bodenbearbeitungssystemen auf das Ökosystem Boden". Gießen, S. 135-145.
- Kutscha-Lissberg und Prillinger** (1982): *Rapid determination of EUF-extractable nitrogen and boron*. Plant and Soil 64: 63-67.
- Lamb, J. A.; Doran, J. W. and Peterson, G. A.** (1987): *Nonsymbiotic dinitrogen fixation in no-till and conventional wheat-fallow systems*. Soil Sci. Soc. Am. J. 51: 356-361.
- Levanon, D.; Codling, E. E., Meisinger, J. J. and Starr, J. L.** (1993): *Mobility of agrochemicals through soil from two tillage systems*. J. Environ. Qual.: 22 : 155-161.
- Linn, D. M. and Doran, J. W.** (1984): *Effect of water-filled pore space on carbon dioxide and nitrous oxide production in tilled and non-tilled soils*. Soil Sci. Soc. Am. J. 48: 1267-1272.
- Linn, D. M. and Doran, J. W.** (1984): *Aerobic and anaerobic microbial populations in no-till and plowed soils*. Soil Sci. Soc. Am. J.: 48: 794-799.
- Lochman, R.; Van der Ploeg, R. und Huwe, B.** (1989): *Zur Parametrisierung der Stickstoff- Mineralisierung in einem Ackerboden unter Feldbedingungen*. Z. Pflanzenernähr. und Bodenk. 152: 319-324.
- Mahli, S.S. and Mc Gill, W.B.** (1985): *Nitrification in three Alberta Soils: effect of temperature, moisture and substrat concentration*. Soil Biol. Biochem. 14: 393-399.
- Maidl, F. X. and Fischbeck, G.** (1987): *Auswirkungen differenzierter Bodenbearbeitung auf das Bodengefüge und die Stickstoffdynamik von Lößböden bei viehloser und viehstarker Bewirtschaftung*. J. Agron. Crop Sci. 159: 335-344.
- Meisinger, J. J.; Bandel, V. A.; Stanford, G. and Legg, J. O.** (1985): *Nitrogen utilization of corn under minimal tillage and moldboard plow tillage. Four- year results using labeled N- fertilizer on an atlantic coastal plain soil*. Agron. J. 77: 602-611.
- Mengel, D. B.; Nelson, D. W. and Huber, D. M.** (1982): *Placement of nitrogen fertilizer for no- till and conventional till corn*. Agron. J. 74: 515-518.
- Mengel, K. und Casper, H.** (1980): *Der Einfluß der Bodenfeuchte auf die Verfügbarkeit von Nitratstickstoff im Boden*. Z. Pflanzenernähr. Bodenk. 143:617-626.
- Mengel, K. and Kirkby, E.A.** (1987): *Principles of plant nutrition*. Intern. Potash Institute, Bern.
- Mengel, K.** (1987): *Bestimmung des verfügbaren Stickstoffs mittels Elektroutrafiltration (EUF)*. VDLUFA- Schriftenreihe 24: 21-30.
- Mengel, K.** (1991): *Ernährung und Stoffwechsel der Pflanze*. Gustav Fischer Verlag, Jena.

- Moschler, W. W.; Martens, D.C.; Rich, C. I. and Shear, G.M.** (1973): *Comparative lime effects on continuous no-tillage and conventionally tilled corn*. Agron. J. 65: 781-783.
- Mostaghimi, S; Younos, T. M. and Tim, U. S.** (1992): *Effect of sludge and chemical fertilizer application on runoff water quality*. Water Resour. Bull. Bethesda 28: 545-552.
- Neely, C. L.; Beare, M. H.; Hargrove, W. L. and Coleman, D. C.** (1991): *Relationships between fungal and bacterial substrate- induced respiration, biomass and plant residue decomposition*. Soil Biol. Biochem. 23: 947-954.
- Nemeth, K.** (1976): *Die Effekte und potentielle Nährstoffverfügbarkeit im Boden und ihre Bestimmung mit Elektro-Ultrafiltration (EUF)*. Habilitationsschrift, Justus-Liebig-Universität Gießen.
- Nemeth, K.** (1982): *Electro-ultrafiltration of aqueous soil suspension with simultaneously varying temperature and voltage*. Plant and Soil 64: 7-23.
- Nemeth, K.** (1985): *Recent advances in EUF research (1980-1983)*. Plant and Soil 83: 1-19.
- Nemeth, K.; Maier, J. und Mengel, K.** (1987): *EUF-extrahierbarer Stickstoff und dessen Beziehung zur Aufnahme und Ertrag von Weizen*. Z. Pflanzenernähr. und Bodenk. 150: 369-374.
- Nemeth, K.** (1988): *Wissenschaftliche Grundlagen der EUF-Stickstoffempfehlung zu Getreide und Hackfrüchten*. 3. Internationales EUF-Symposium in Mannheim. Kostensenkung und Umwelt. Band 1: 11-46.
- Olfs, H.W.; Beck, Th. und Werner, W.** (1990): *Charakterisierung von N-Immobilisations- und Mobilisationsprozessen durch chemische und mikrobiologische Parameter*. VDLUFA-Schriftreihe 32: 257-264.
- Ottow, J.-C. G.** (1990): *Bedeutung des Abbaus chemisch-organischer Stoffe in Böden*. Nachr. Chem. Tech. Lab. 38: 93-94.
- Paul, E. A.** (1984): *Dynamics of organic matter in soils*. Plant and Soil 76: 275-285.
- Phillips, R.E.** (1984): *Effects of Climate on Performance of No-Tillage*. Van Nostrand Reinhold Company, "No-Tillage Agriculture, Principles and Practices". New York, PP. 11-41.
- Phillips, R.E. and Phillips, S.H.** (1984): *No-tillage agriculture. Principles and Practices*. Van Nostrand Reinhold Company, "No-Tillage Agriculture, Principles and Practices". New York, PP. 190-225.
- Rattan L.** (1989): *Conservation tillage for sustainable agriculture: tropics versus (vs) temperate environments*. Department of Agronomy, Ohio State University.
- Reeves, D. W.; Mask, P. L.; Wood, C. W. and Delaney, D. P.** (1993): *Determination of wheat nitrogen status with a hand- held chlorophyllmeter: influence of management practices*. J. Plant Nutr. 16: 781-796.
- Rice, C. W. and Smith, M. S.** (1983): *Nitrification of fertilizer and mineralized Ammonium in no- till and plowed soil*. Soil Sci. Soc. Am. J. 47: 1125-1129.
- Rice, C. W. and Smith, M. S.** (1984): *Short- term immobilization of fertilizer nitrogen at the surface of no- till and plowed soils*. Soil Sci.Soc. Am. J. 48: 295-297.
- Rice, C. W.; Smith, M. S. and Blevins, R. L.** (1986): *Soil nitrogen availability after long-term no- tillage and conventional tillage corn production*. Soil Sci. Soc. Am. J. 50: 1206-1210.

- Rice, C. W.; Grove, J. H. and Smith, M. S. (1987):** *Estimating soil net nitrogen mineralization as affected by tillage and soil drainage due to topographic position.* Can. J. Soil Sci. 67: 513-520.
- Richter, G.M.; Perbandt, S.; Roelke, M. und Richter, J. (1989):** *Ton- und Humusgehalt zur flächendeckenden Abschätzung der N-Mineralisation mit quantitativen Modellen.* Mittg. Dtsch. Bodenk. Gesellsch. 59: 773-714.
- Richter, U. (1995):** *Einfluß langjährig differenzierter Bodenbearbeitungssysteme auf das Bodengefüge und den Stickstoffhaushalt.* Dissertation. Justus-Liebig-Universität. Gießen.
- Richter, U. und Harrach, T. (1992):** *Wirkung von Bodenbearbeitungsverfahren auf den N-Haushalt im System Boden-Pflanze.* Symposiumsband "Wechselwirkung von Bodenbearbeitungssystemen auf das Ökosystem Boden". Gießen, S. 81-96.
- Scherer, H.W. und Mengel, K. (1979):** *Der Gehalt an fixiertem Ammonium-Stickstoff auf repräsentativen hessischen Standorten.* Landw. Forsch. 32: 416-424.
- Schlichting, E. (1986):** *Standortsfaktoren und Düngewirkung.* Kali-Briefe 18: 157-165.
- Schmidt, D. (1989):** *Adaption der Saatgutablage an Geräte für die nichtwendende Bodenbearbeitung.* Symposiumsband "Wechselwirkung von Bodenbearbeitungssystemen auf das Ökosystem Boden". Gießen, S. 21-31.
- Scholten, J. H. M. (1992):** *Increasing urea- N efficiency for transplanted lowland rice by pneumatic injection: yield and economics at the farm level.* Fertil. Res. 33: 107-114.
- Schönberger, H. und Wiese, J. (1991):** *Forschungsbedarf im Zusammenhang mit den Zielvorstellungen, der Meß- und Vorausagbarkeit von Elementen und Prozessen der Bodenfruchtbarkeit: Produktionstechnik und Produktionsverfahren.* Bodennutzung und Bodenfruchtbarkeit. Band 1: Bodenfruchtbarkeit, 144-157.
- Schröder, D. (1991):** *Ursachen und Ausmaß der Erosion.* Bodennutzung und Bodenfruchtbarkeit, Band 3: Bodenerosion, 16-27.
- Seifert, V. (1988):** *Pfluglose Bodenbearbeitung und Kalkung.* DLG- Mitteilungen 21:1094.
- Silva, J.A. und Bremner, J.M. (1966):** *Determination and Isotopratio analysis of different forms of nitrogen in soils: fixed ammonium.* Soil Sci. Soc. Am. J. 43: 786-789.
- Spielhaus, G. (1988):** *Den Pflug zum alten Eisen?* DLG-Mitteilungen 16: 837-843.
- Stanley, T. E.; Edwards, W. M.; Scott, C. L. and Owens, L. B. (1988):** *Soil microbial biomass and organic component alterations in a no-tillage chronosequence.* Soil Sci. Soc. Am. J. 52: 998-1005.
- Steffens, D.; Barekzai, A.; Bohring, J. und Poos, F. (1990):** *Der EUF-lösliche stickstoffgehalt in Ackerböden des Landkreises Gießen.* Agribiol. Res. 43: 319-329.
- Strebel, O.; Duynisveld, W. H. M. und Böttcher, J. (1986):** *Vertikaler Stofftransport im Boden und Stoffverluste aus dem Wurzelraum ins Grundwasser.* Kalibriefe 18: 93-105.
- Sturm, H. (1979):** *Hilfstabelle für die N-Düngung im Getreidebau.* Kalibriefe 14: 471-486.
- Sturm, H.; Buchner, A. und Zerulla, W. (1994):** *Gezielter düngen.* 3. Aufl. DLG-Verlag, Frankfurt am Main.
- Tebrügge, F.; Griebel, J. und Henke, W. (1985):** *Bodenbearbeitung und Bestelltechnik heute: energie-, arbeits-, kostensparend und bodenschonend.* Landtechnik 40: 73-77.
- Tebrügge, F. (1987):** *Landtechnische Verfahren zum Bodenschutz.* Z. Kulturtech. Flurber. 28: 175-183.

- Tebrügge, F. und Eichhorn, H.** (1992): *Die ökologischen und ökonomischen Aspekte von Bodenbearbeitungssystemen.* Symposiumsband "Wechselwirkung von Bodenbearbeitungssystemen auf das Ökosystem Boden". Gießen, S. 7-20.
- Tracy, P.W.; Westfall, D.G.; Elliot, E. T.; Paterson, G.A. and Cole, C. V.** (1990): *Carbon, nitrogen, phosphorus and sulfur mineralization in plow and no-till cultivation.* Soil Sci. Soc. Am. J. 54: 457-461.
- Unger, P. W.** (1991): *Organic matter, nutrient and pH distribution in no- and conventional tillage semiarid soils.* Agron. J. 83: 186-189.
- Van Gestel, M.; Ladd, J. N. and Amato, M.** (1992): *Microbial biomass responses to seasonal change and imposed drying regimes at increasing depths of undisturbed topsoil profiles.* Soil- Biol- Biochem. 24: 103-111.
- Vilsmeier, K; Amberger, A. und Gutser, R.** (1988): *Dynamik von Boden- und Düngerstickstoff (N^{15}) im Weiherstephaner Lysimeter.* VDLUFA Schriftenreihe 28: 455-469.
- Wedraogo, F. X.; Belgy, G. and Berthelin, J.** (1993): *Seasonal nitrification measurements with different species of forest litter applied to granite-sand-filled lysimeters in the field.* Biol. Fertil. Soils 15: 28-34.
- Weeraratna, C.S.** (1979): *Pattern of nitrogen release during decomposition of some green manures in a tropical alluvial soil.* Plant and Soil 53: 287-294.
- Wehrmann, J.und Scharpf, H. C.** (1979): *Der mineralische Stickstoffgehalt des Bodens als Maßstab für den Stickstoffdüngerbedarf (Nmin-Methode).* Plant and Soil 52: 109-126.
- Wehrmann, J. and Scharpf, H. C.** (1986): *The Nmin Method - an aid to interpreting various objectives of nitrogen fertilization.* Z. Pflanzenernähr. Bodenk. 149: 428-440.
- Werner, W.; Beck, Th.; Hoegen, B. und Olf, H.-W.** (1989): *Mikrobiologische und chemische Charakterisierung der leicht mobilisierbaren Norg-Fraktion des Bodens und deren Beziehung zur N-Aufnahme der Pflanze und zur N-Verlagerung in das Grundwasser.* Mitteilgn. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch. 59: 1233-1238.
- Witt, W.W.** (1984a): *Some factors affecting weed control in no-tillage.* Van Nostrand Reinhold Company, "No-Tillage Agriculture, Principles and Practices". New York, PP. 152-161.
- Witt, W.W.** (1984b): *Effect of surface plant residue on herbicide persistence.* Van Nostrand Reinhold Company, "No-Tillage Agriculture, Principles and Practices". New York, PP. 161-171.
- Wood, C. W.; Westfall, D. G. and Peterson, G. A.** (1991): *Soil carbon and nitrogen changes on initiation of no-till cropping systems.* Soil- Sci.- Soc. Am. J. 55: 470-476.
- Ziegler, K.** (1989a): *Feldversuche zur Ermittlung der Stickstoffsverfügbarkeit fränkischer Ackerböden zur weiteren Eichung des EUF-Verfahrens im Getreidebau.* Dissertation, Justus-Liebig-Universität Gießen.
- Ziegler, K.** (1989b): *Einfluß von Düngung und Ertragshöhe auf den Stickstoffgehalt des Bodens im Herbst.* Referat, Tagung der Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch. Münster.
- Ziegler, K.; Nemeth, K. und Mengel, K.** (1992): *Relationship between electroultrafiltration (EUF) extractable nitrogen, grain yield, and optimum nitrogen fertilizer rates for winter wheat.* Fertil. Res. 32: 37-43.